



Tesis Doctoral

ESTUDIO DE MATERIAS PRIMAS
ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA
EN ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE
LECHE Y CARNE

Eugenio Cegarra García

Departamento de Ingeniería Agroforestal
Escuela Politécnica Superior

LUGO
2015





Tesis Doctoral

ESTUDIO DE MATERIAS PRIMAS
ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA
EN ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE
LECHE Y CARNE

Firmado:

Eugenio Cegarra García

Departamento de Ingeniería Agroforestal
Escuela Politécnica Superior

LUGO
2015



Dr. D. César Resch Zafra.

Profesor do Departamento: Ingeniería Agroforestal

Como Director da Tese de Doutoramento titulada

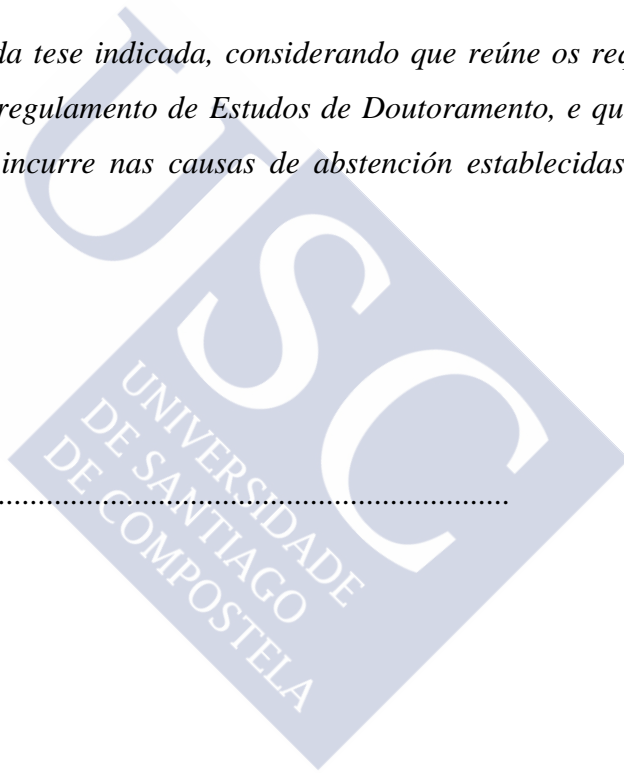
«Estudio de materias primas alternativas a la torta de soja en alimentación de vacuno de leche y carne»

Presentada por D. Eugenio Cegarra García

Alumno do Programa de Doutoramento: Ingeniería para el desarrollo rural.

Autoriza a presentación da tese indicada, considerando que reúne os requisitos esixidos no artigo 34 do regulamento de Estudos de Doutoramento, e que como Director da mesma non incurre nas causas de abstención establecidas na lei 30/1992.

Asdo.





AGRADECIMIENTOS

A mi empresa, NUTER FEED, SAU, por haberme permitido y facilitado el desarrollo de este proyecto y, en particular, a mi superior directo, Jesús Carrizo, que siempre creyó en el proyecto EMANA que, finalmente, concluimos con un gran éxito.

A los investigadores, Dr. Gonzalo Flores y Dra. Teresa Moreno por su implicación y buen hacer en los ensayos experimentales realizados en el en CIAM, sin ellos no podríamos haber conseguido los buenos resultado obtenidos.

A mi director de tesis, César Resch Zafra por haberme ayudado y animado a presentar este trabajo.

A mis padres, Eugenio y María Covadonga, por facilitarme los medios para estudiar y formarme adecuadamente.

A mi mujer María José, a mis hijos Vládik y Carlota, por ser un estímulo en el día a día, sin ellos no hubiera sido capaz de haber terminado este trabajo.

A mis hijos les digo: el camino que se recorre es largo y difícil, pero si se trabaja y se es persistente, se consigue lo que uno desea. Que obren en buena conciencia y pensando en el bien de los demás.

Doy gracias a todos.

El hombre nunca sabe de lo que es capaz hasta que lo intenta.

Charles Dickens



LISTA DE ABREVIATURAS

A:	Fracción inmediatamente degradable.
AA:	Aminoácidos.
AG:	Ácidos grasos.
B:	Fracción potencialmente degradable.
c:	Velocidad de degradación ruminal.
°C:	Grados centígrados.
Ca:	Calcio.
CDTI:	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.
CDS:	Condensed distillers solubles.
CLA:	Ácido linoleico conjugado.
cm:	Centímetro.
CNET:	Carbohidratos no estructurales.
CSA:	Carbohidratos solubles en agua.
CIAM:	Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo.
CZ:	Cenizas.
cv:	Coefficiente de variación.
DDG:	Dry Distillers Grain.
DDGS:	Dry Distillers Grain with Solubles (granos secos de destilería con solubles).
DIP:	Disponibilidad intestinal de la proteína.
DIPNDR:	Disponibilidad intestinal de la proteína no degradable en el rumen.
DoTT:	Digestibilidad in vitro de la materia orgánica por el método Tilley-Terry.
D _{FAD} :	Digestibilidad de la fibra ácido detergente.
D _{FND} :	Digestibilidad de la fibra neutro detergente.
D _{MO} :	Digestibilidad de la materia orgánica.
D _{MS} :	Digestibilidad de la materia seca.
D _N :	Digestibilidad del nitrógeno.
DP:	Degradabilidad potencial.
dr:	Digestibilidad real de la proteína de origen alimenticio.
DT:	Degradabilidad ruminal teórica.
EB:	Energía bruta.
EE:	Extracto etéreo.
EGD:	Espesor de grasa subcutánea dorsal, medido en la canal en la 12ª costilla.
EMANA:	Evaluación de materias primas alternativas en la alimentación animal.

ENG:	Energía neta de la ganancia.
ENL:	Energía neta de leche.
ENM:	Energía neta de mantenimiento.
FAD:	Fibra ácido detergente.
FADIN:	Nitrógeno insoluble en la fibra ácido detergente.
FB:	Fibra bruta.
FND:	Fibra neutro detergente.
FNDN:	Nitrógeno insoluble en la fibra neutro detergente.
GB:	Grasa bruta.
G:F:	Ratio ganancia: consumo de alimento
GLS:	Glucosinolatos.
GMD:	Ganancia media diaria.
GSBT:	Espesor de la grasa subcutánea, medida in vivo a la altura de la 12 ^a costilla.
h:	Hora.
IC:	Índice de conversión.
I _{MO} :	Ingestión voluntaria de materia orgánica.
I _{MS} :	Ingestión voluntaria de materia seca.
kg:	Kilogramo.
l:	Litro.
LAD:	Lignina ácido detergente.
LCG:	Leche corregida en grasa.
LCGP:	Leche corregida en grasa y proteína.
LIS DI:	Lisina digestible en el intestino.
Máx.:	Valor máximo.
Mcal:	Megacalorías.
MET DI:	Metionina digestible en el intestino.
mg:	Miligramo.
Mín.:	Valor mínimo.
MG:	Materia grasa.
MF:	Materia fresca.
Mn:	Manganeso.
MO:	Materia orgánica.
MS:	Materia seca.
MSI:	Materia seca ingerida.
Mt:	Millones de toneladas.

MUFA:	Ácidos grasos monoinsaturados.
N:	Nitrógeno.
N-NH ₃ (% N total):	Cantidad de nitrógeno amoniacal en porcentaje del nitrógeno total.
NRC:	National Research Council (USA).
ns:	No significativo.
p:	Nivel de significación.
P:	Fósforo.
PAC:	Política Agraria Común.
PB:	Proteína bruta.
PCC:	Peso de la canal en caliente.
PCF:	Peso de la canal en frío.
PDI:	Proteína digestible en el intestino.
PDR:	Proteína degradable en el rumen.
peFND:	Fibra neutro detergente efectiva.
PNDR:	Proteína no degradable en el rumen.
PUFA:	Ácidos grasos poliinsaturados totales
PV ^{0.75} :	Peso vivo metabólico (Kg. ^{0.75}).
PV:	Peso vivo.
S:	Azufre.
sd:	Desviación estándar de la media.
s.e.:	Error estándar.
Se:	Selenio.
SFA:	Ácidos grasos saturados totales.
t:	Tonelada.
TC:	Torta de colza.
TG:	Torta de girasol.
TS:	Torta de soja.
TVA:	Ácido trans vaccénico.
UE:	Unión europea.
UFC:	Unidades forrajeras carne.
UFL:	Unidades forrajeras leche.
WDG:	Wet distiller grain.
WDGS:	Wet distillers grain with soluble.
Zn:	Zinc.



RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA TORTA DE COLZA, DDGS DE MAÍZ Y DDGS DE TRIGO COMO FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA EN VACAS LECHERAS.

El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto de la torta de colza (TC), DDGS de maíz y DDGS de trigo frente a torta de soja (TS) en vacas lecheras sobre la producción de leche y su composición. Se emplearon veinticuatro vacas lecheras en un diseño experimental en cuadrado latino 4 x 4 con periodos de 28 días. También se realizó un ensayo de digestibilidad en ovinos y una evaluación de la dinámica de la degradabilidad ruminal de las materias primas del ensayo en vacas fistulizadas.

No hubo diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los valores de digestibilidad de las raciones completas.

Existieron diferencias significativas en la degradabilidad teórica de la MO y del N entre tratamientos (DDGS de trigo: 77,69 y 80,40%; DDGS de maíz: 69,30 y 59,60%; TC: 62,40 y 63,10% y TS: 76,0 y 69,60%, respectivamente).

Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la producción de leche ni en la producción de grasa y proteína entre los tratamientos. El porcentaje de grasa y proteína en la leche del tratamiento con DDGS de maíz (3,50 y 2,94%) fueron significativamente inferiores comparado con TS (4,04 y 3,09%) y TC (3,90 y 3,10%), respectivamente y no las hubo frente al DDGS de trigo (3,74 y 3,01%, respectivamente).

El nivel de urea en leche presentó diferencias significativas entre tratamientos (TC: 148 mg/kg; TS: 131 mg/kg; DDGS de trigo: 127 mg/kg y DDGS de maíz: 87 mg/kg). Tampoco existieron diferencias significativas entre tratamientos en el consumo de alimento ni en la eficiencia del alimento ni en el peso vivo de los animales.

Estos resultados indican que la TC, DDGS de maíz y DDGS de trigo pueden sustituir a TS en raciones de vacas lecheras sin efecto negativo sobre la producción de leche, grasa y proteína.

Palabras clave: Torta de colza, DDGD de maíz, DDGS de trigo, torta de soja, vaca lechera.



RESUMO

AVALIACIÓN DA TORTA DE COLZA, DDGS DE MILLO E DDGS DE TRIGO COMO FONTES PROTEICAS ALTERNATIVAS Á TORTA DE SOIA EN VACAS LEITEIRAS.

O obxectivo deste ensaio foi avaliar o efecto da torta de colza (TC), DDGS de millo e DDGS de trigo fronte a torta de soia (TS) en vacas leiteiras sobre a produción de leite e a súa composición. Empregáronse vinte e catro vacas leiteiras cun deseño experimental en cadrado latino 4 x 4 con períodos de 28 días. Tamén realizouse un ensaio de dixestibilidade en carneiros e unha avaliación da dinámica da degradabilidade ruminal das materias primas do ensaio en vacas fistulizadas.

Non houbo diferenzas significativas entre tratamentos pra ningún dos valores de dixestibilidade das racións completas.

Houbo diferenzas significativas na degradabilidade teórica da MO e do N entre tratamentos (DDGS de trigo: 77,69 e 80,40%; DDGS de millo: 69,30 e 59,60%; TC: 62,40 e 63,10% e TS: 76,0 e 69,60%, respectivamente).

Con todo, non houbo diferenzas significativas na produción de leite nin na produción de graxa e proteína entre tratamentos. A porcentaxe de graxa e proteína no leite do tratamento con DDGS de millo (3,50 e 2,94%) foi significativamente inferior comparado con TS (4,04 e 3,09%) e TC (3,90 e 3,10%), no séndoo con respecto a o DDGS de trigo (3,74 e 3,01%), respectivamente.

O nivel de urea no leite presentou diferenzas significativas entre tratamentos (TC: 148 mg/kg; TS: 131 mg/kg; DDGS de trigo: 127 mg/kg y DDGS de millo: 87 mg/kg). Tampouco houbo diferenzas significativas entre tratamentos no consumo de alimento nin na eficiencia do alimento nin no peso vivo dos animais ao final do ensaio.

Estes resultados indican que a TC, DDGS de millo e DDGS de trigo poden substituír a TS en racións de vacas leiteiras sen efecto negativo sobre a produción de leite, graxa e proteína.

Palabras chave: Torta de colza, DDGD de millo, DDGS de trigo, torta de soia, vaca leiteira.



SUMMARY

EVALUATION OF RAPE MEAL, CORN DDGS AND WHEAT DDGS AS ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE TO SOYBEAN MEAL IN DAIRY CATTLE.

The objective of this trial was to evaluate the effect of rape meal (TC), corn DDGS and wheat DDGS instead of soybean meal (TS) on lactating cows on milk yield and composition. Twenty four Holstein milk cows were used in a Latin square design 4 x 4 with 28-day periods. Also, twenty ram were used to test the digestibility of complet feed on. Cannulated cows were used to evaluate the dynamic degradation in rumen of this raw material.

In the digestibility trial, no significant differences were found on digestibility of all parameters among treatments.

However, there were significant differences on theoretical degradability of organic matter and nitrogen among treatments (wheat DDGS: 77,69 and 80,40%; corn DDGS: 69,30 and 59,60%; TC: 62,40 and 63,10% and TS: 76,0 and 69,60%, respectively).

No significant differences were found on milk yield, fat and protein yield among treatments.

The fat and protein percentage in milk were significantly lower on corn DDGS (3,50 and 2,94%) compared with TS (4,04 and 3,09%) and TC (3,90 and 3,10%), respectively. However, no differences were found on corn DDGS compared with wheat DDGS (3,74 and 3,01%), respectively.

The four treatments showed significant differences in milk urea (TC: 148 mg/kg, TS: 131 mg/kg, wheat DDGS: 127 mg/kg and corn DDGS: 87 mg/kg).

There was no difference among treatments on dry matter intake and variation of body weight at the end of the test.

These data indicate that TC, corn DDGS and wheat DDGS can replace TS in dairy cows diets without a negative impact on milk, fat and protein yield.

Key words: Rape meal, corn DDGS, wheat DDGS, soybean meal, dairy cattle.



RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA TORTA DE COLZA Y DDGS DE MAÍZ COMO FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA EN EL ENGORDE Y ACABADO DE TERNEROS DE RAZA FRISONA EN CEBADERO

El objetivo del ensayo fue evaluar el efecto de la torta de colza (TC) y DDGS de maíz frente a torta de soja (TS) en terneros en cebo intensivo desde 120 kg de peso vivo hasta el sacrificio (400 kg de peso vivo) sobre los parámetros productivos y las características de la canal.

El índice de conversión del grupo TC fue significativamente menor comparado con los otros dos tratamientos. No hubo diferencias significativas en la ganancia media diaria ni en el consumo total de pienso ni en el peso vivo al sacrificio.

Tampoco se presentaron diferencias significativas en los parámetros de la canal: peso, rendimiento, conformación, grado de engrasamiento, espesor de la grasa subcutánea *in vivo* ni en el espesor de grasa dorsal de la canal.

Para la TC hubo diferencias significativas en el peso del músculo *Longissimus thoracis*, pero no las hubo para el peso de la pieza del lomo, el área y el diámetro mayor del *L. thoracis* en la 12ª costilla, ni en su composición química (humedad, proteína, grasa y cenizas) ni en el pH de la carne, pero sí en el color de la carne del tratamiento con DDGS (índice rojo, amarillo y cromaticidad), no las hubo para la luminosidad de la grasa.

En el perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea, el tratamiento con DDGS presentó valores significativamente más elevados de ácido linoleico, ácidos grasos poliinsaturados totales, índice n-6/n-3 y total ácidos grasos *trans*. Sin embargo, presentó valores significativos menores para el ácido palmítico, mientras que no fueron significativos para los ácidos grasos saturados totales.

Estos resultados apoyan la hipótesis de que la TC y el DDGS pueden reemplazar la TS en el crecimiento y cebo intensivo de terneros sin afectar negativamente a los parámetros productivos y a las características de la canal.

Palabras clave: Torta de colza, DDGS de maíz, torta de soja, terneros, GMD, calidad canal.



RESUMO

AVALIACIÓN DA TORTA DE COLZA E DDGS DE MILLO COMO FONTES PROTEICAS ALTERNATIVAS Á TORTA DE SOIA NO ENGORDE E ACABADO DE BECERROS DE RAZA FRISONA EN CEBADERO

O obxectivo deste ensaio foi avaliar o efecto da torta de colza (TC) e DDGS de millo fronte a torta de soia (TS) en becerros en cebo intensivo dende os 120 kg de peso vivo ata o sacrificio (400 kg de peso vivo) sobre os parámetros productivos e as características da canal.

O índice de conversión do grupo TC foi significativamente menor comparado con os outros dous tratamentos. Non houbo diferenzas na ganancia media diaria nin no consumo total de penso nin no peso vivo ao sacrificio.

Non presentáronse diferenzas significativas nos parámetros da canal: peso, rendemento, conformación, grado de engrasamento, espesor da graxa subcutánea *in vivo* e no espesor da graxa dorsal da canal.

Para a TC houbo diferenzas significativas no peso do músculo *Longissimus thoracis*, pero non as houbo para o peso da peza do lombo, o área e o diámetro maior do *L. thoracis* na 12ª costela, nin na súa composición química (humidade, proteína, graxa e cinzas) nin no pH da carne, pero sí as houbo na cor da carne do tratamento con DDGS (índice vermello, amarelo e cromaticidade), non as houbo para a luminosidade da graxa.

No perfil de ácidos graxos da graxa subcutánea, o tratamento con DDGS presentou valores significativamente mais elevados no ácido linoleico, ácidos graxos poliinsaturados totais, índice n-6/n-3 e totalácidos graxos *trans*. De todos os xeitos, foron menores para o ácido palmítico, mentres que non foron significativas para os ácidos graxos saturados totais.

Estes resultados apoian a hipótese de que a TC e DDGS de millo poden substituír a TS en racións de crecemento e acabado intensivo de becerros sen afectar negativamente a os parámetros productivos nin a as características da canal.

Palabras chave: Torta de colza, DDGS de millo, torta de soia, terneiros, GMD, calidade da canal



SUMMARY

EVALUATION OF RAPE MEAL, CORN DDGS AS ALTERNATIVE SOURCE OF PROTEIN TO SOYBEAN MEAL IN GROWING AND FATTENING HOLSTEIN BEEF.

The objective of this trial was to evaluate the effect of rape meal (TC), corn DDGS instead of soybean meal (TS) on Holstein beef (120 kg initial body weight until slaughtering, about 400 kg) on productive parameters and carcass characteristics.

Feed gain ratio was significant lower on TC compared with the other two treatments. However, no significant differences were found on average daily gain, feed intake and body weight at slaughter.

No significant differences were found on carcass parameters among treatments: weight, yield, and conformation, subcutaneous fat thickness *in vivo* and back fat thickness of carcass.

The weight of muscle *Longissimus thoracis* was found significant different on TC. Nevertheless, no significant differences were found on weight of loin muscle, area and large diameter of *L. thoracis* in the 12th rib. Besides, no significant differences were found on chemical composition (moisture, protein, fat and ash) and pH of meat. Whereas, significant differences were found on meat colour on corn DDGS group (red and yellow index and chromaticity) compared with TC and TS. However, no significant differences were found on brightness fat.

DDGS group was found significant higher value on fatty acids profile of subcutaneous fat: linoleinic acid, total poliunsaturated fatty acids, index n-6/n-3 and total *trans* fatty acids. Whereas, lower significant difference was found on palmitic acid on DDGS group. However, no significant difference was found on total saturated fatty acids among treatments.

These results supported the hypothesis that TC and DDGS can replace TS in intensive growing and finishing beef diets without a negative impact on productive parameters and carcass characteristics.

Keywords: Rape meal, corn DDGS, soybean meal, beef, GMD, quality carcass.



INDICE

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DEL ESTUDIO.....	7
1.1.1. Objetivos generales e hipótesis.....	7
1.1.2. Objetivos específicos e hipótesis.....	7
1.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. TORTA DE COLZA	9
2.1.1. Proceso de producción de la torta de colza.....	9
2.1.2. Características nutricionales de la TORTA DE COLZA	12
2.1.2.1. Proteína.....	12
2.1.2.2. Energía.....	15
2.1.2.3. Hidratos de carbono.....	15
2.1.2.4. Minerales	16
2.1.2.5. Glucosinolatos	17
2.1.2.6. Ácido fítico.....	19
2.1.2.7. Sinapina.....	19
2.1.2.8. Taninos	20
2.2 DDGS DE MAIZ Y DE TRIGO	20
2.2.1. Proceso de producción de etanol	20
2.2.2. Características nutricionales de los DDGS de maíz y trigo.....	22
2.2.2.1. Proteína.....	23
2.2.2.2. Energía.....	27
2.2.2.3. Grasa.....	28
2.2.2.4. Fibra.....	29
2.2.2.5. Almidón.....	31
2.2.2.6. Minerales	32
2.3. UTILIZACIÓN DE TORTA DE COLZA EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE.....	35
2.3.1. La torta de colza en raciones de vacas lecheras.....	35
2.3.2. La torta de colza en raciones de vacuno de carne.....	37
2.4. UTILIZACIÓN DE DDGS DE MAIZ EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE.....	38
2.4.1 DDGS de maíz en raciones de vacas lecheras	38

2.4.2 DDGS de maíz en raciones de vacuno de carne	40
2.5. UTILIZACIÓN DE DDGS DE TRIGO EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE.....	41
2.5.1 DDGS de trigo en raciones de vacas lecheras.	41
2.5.2 DDGS de trigo en raciones de vacuno de carne.	42
2.6. UTILIZACIÓN DE TORTA DE SOJA EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE.....	44
2.7. RESUMEN	46
2.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	47
3. EVALUACIÓN DE LA TORTA DE COLZA, DDGS DE MAÍZ Y DDGS DE TRIGO COMO FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA EN VACAS LECHERAS.	65
3.1. INTRODUCCIÓN	65
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	66
3.2.1. Animales y dietas.....	66
3.2.2 Ensayo de alimentación	68
3.2.3 Determinación de la digestibilidad <i>in vivo</i> de las raciones completas.....	69
3.2.4 Determinación de la degradabilidad ruminal.....	69
3.2.5 Análisis químico de las muestras.....	70
3.2.6 Análisis estadístico	71
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
3.3.1 Composición de los alimentos	72
3.3.1.1.- Materias primas.....	72
3.3.1.2.- Concentrados empleados en el ensayo de alimentación con vacas lecheras	74
3.3.1.3. Ensilados de hierba y maíz	75
3.3.1.4. Raciones completas	76
3.3.1.5. Digestibilidad <i>in vivo</i> de las raciones completas.....	79
3.3.1.6. Degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de las materias primas y piensos utilizados en la elaboración de las dietas completas.	80
3.3.1.6.1. Materias primas	80
3.3.1.6.2. Piensos	88
3.3.1.7.- Resultados del ensayo de producción de leche	91
3.4. CONCLUSIONES	102
3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	103

4. EVALUACIÓN DE LA TORTA DE COLZA Y DDGS DE MAÍZ COMO FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA EN EL ENGORDE Y ACABADO DE TERNEROS DE RAZA FRISONA EN CEBADERO	109
4.1. INTRODUCCIÓN	109
4.2. MATERIAL Y MÉTODOS	110
4.2.1. Animales y dietas.....	110
4.2.2. Análisis químico de las muestras de alimento:.....	113
4.2.3. Controles y medidas sobre la canal	114
4.2.4. Análisis de la calidad de la carne.....	114
4.2.5. Análisis estadístico	114
4.3. RESULTADOS	115
4.3.1 Composición química de los alimentos suministrados a los terneros.....	115
4.3.1.1.- Composición química de los piensos	115
4.3.1.2.- Composición química de la paja	117
4.3.2. Perfil de AG de los alimentos suministrados a los terneros	117
4.3.2.1.- Perfil de AG de los piensos	117
4.3.2.2.- Perfil de AG de la paja.....	119
4.3.3 Consumo de los alimentos suministrados a los terneros	120
4.3.3.1.- Consumo de pienso	120
4.3.3.2.- Consumo de paja.....	121
4.3.4 Medidas del animal en vivo y en canal.....	121
4.3.5 Medidas de la pieza del lomo	123
4.3.6. Composición química del <i>L.thoracis</i> del lomo de los terneros	124
4.3.7. Análisis físico del lomo y grasa subcutánea de los terneros.....	124
4.3.8. Perfil de AG de la grasa subcutánea del lomo de los terneros.....	126
4.4. DISCUSIÓN:.....	129
4.5. CONCLUSIONES	135
4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
5. CONCLUSIONES FINALES Y RESUMEN GENERAL.	141



1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En el marco de las ayudas del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) del Ministerio de Industria correspondientes al año 2010, se acude a las ayudas denominadas Fondos Tecnológicos con el fin de desarrollar un proyecto de I+D, este proyecto pretendía realizar una evaluación de materias primas alternativas en la alimentación animal (EMANA) procedentes de la elaboración de biocombustibles (etanol y diésel). Se empleó glicerina, torta de colza (TC) y granos secos de destilería con solubles (DDGS) procedentes de maíz, cebada y trigo. Dicho proyecto buscaba estudiar dichas materias primas con el fin de caracterizarlas analíticamente, verificar su comportamiento durante el proceso de producción del pienso (dosificación, almacenamiento, proceso de granulación, gasto energético del proceso de granulación, entre otros). También se incluyeron ensayos en animales con el fin de comprobar su efecto sobre el rendimiento zootécnico en varias especies animales y etapas productivas, desde el crecimiento y acabado de cerdos, lactación de cerdas, cebo de conejos, vacuno lechero y de carne. Para ello se forma un consorcio de 7 empresas del sector de la alimentación animal para desarrollar una serie de actividades durante los años 2010, 2011 y 2012 con un presupuesto superior a los 5 millones de € en donde se contó con la colaboración de 7 centros de investigación a lo que se les destinó un presupuesto de superior a los 600.000 €.

Como consecuencia de este proyecto, la empresa a la que pertenezco (NUTER FEED SAU) realizó numerosos ensayos experimentales. Los ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Mabegondo (CIAM) en vacuno lechero y vacuno de carne son los que han dado lugar a la elaboración de esta tesis doctoral.

Se estima que el déficit de proteína en la Unión Europea (UE) para alimentación animal es, como media aproximada, el 70%, este dato ha ido fluctuando entre el 80 y el 70% durante los últimos cuarenta años. USA, Brasil y Argentina producen el 84 y el 90% de la soja a nivel mundial, así pues, un problema en uno de estos países supondría inmediatas consecuencias en el mercado global que afectarían al precio de este ingrediente. Las adversas condiciones climatológicas habidas en Argentina en el año 2012 y en USA en el año 2013 provocaron una reducción en su habitual volumen de producción, ello hizo levantar las alarmas en la UE ya que, además, ha dejado de ser el principal comprador mundial, pasando China a ser el mayor importador de soja a partir del año 2009. Ello hace que la UE tenga muy poco control sobre el aprovisionamiento de soja, por lo que buscar fuentes proteicas alternativas para la

alimentación animal se convierte en una cuestión estratégica muy importante (Martin, 2014).

Martin (2014) indica que existen distintas opciones para mejorar el balance de proteína de la UE, son las siguientes: Facilitar el acceso a las fuentes vegetales ya existentes. Estimular la producción local de proteína vegetal a través de medidas políticas dentro de la UE. Incrementar la disponibilidad de fuentes no vegetales de proteína (harinas de carne, insectos). Usar la proteína disponible de manera más eficiente y reducir las necesidades proteicas de los animales.

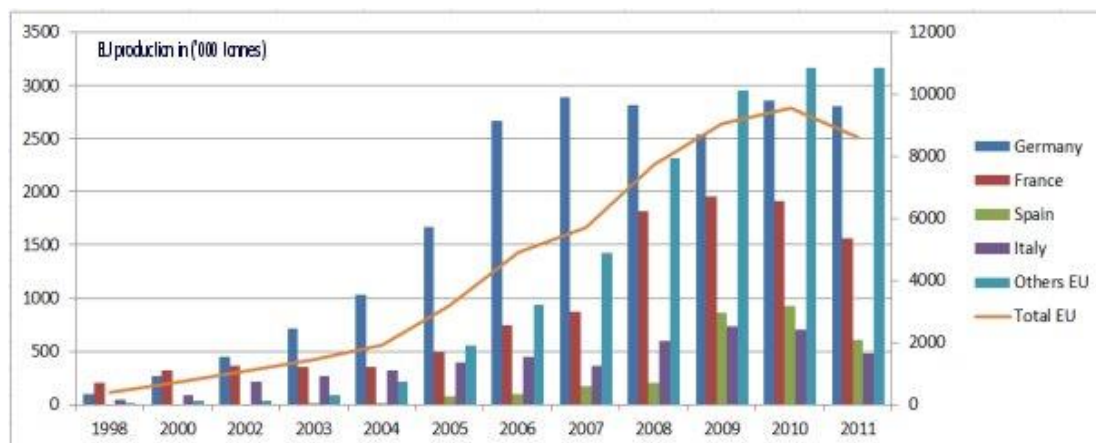
La nueva Política Agraria Común (PAC) de la UE, para el periodo 2014 a 2020, incluye medidas políticas de tipo ambiental de tal modo que los estados miembros deberán dedicar un 5% de la tierra cultivable a áreas ecológicas y deberán elegir cultivos de los denominados “fijadores de nitrógeno”. Otra medida es la diversificación de cultivos, de tal modo que cada agricultor que disponga de mas de 10 ha deberá, al menos, introducir dos cultivos diferentes, en el caso de disponer de mas de 30 ha el número mínimo de cultivos será de tres. Con ello se espera incrementar la productividad y el aumento de los cultivos proteicos dentro de la UE.

Aparte de la PAC, la política de la UE sobre biocombustibles ha incentivado, de una manera indirecta, la producción de proteína vegetal destinada a la alimentación animal.

Dentro de la Unión Europea, los combustible empleados en el transporte por carretera contribuyen al 18% de las emisiones de gases de invernadero (Pinkney, 2009) con un incremento anual del 1,6% (IEA, 2008a). Aparte de la mejora en la tecnología para fabricar vehículos más eficientes, las autoridades consideran que los biocombustibles son un elemento esencial para reducir las emisiones que se producen con los combustibles fósiles. Con las estimaciones realizadas por la IEA (2008a), se espera un incremento del consumo mundial de biocombustibles, de tal modo que se pasaría de 24,4 Mt producidos en el año 2006 a 94 Mt en el año 2020; 125 Mt en el año 2030 y cerca de 210 Mt en el año 2050 (aproximadamente el 6% de las necesidades globales (IEA, 2008a). En el año 2020 se espera que el consumo de biocombustibles sea de 55 Mt entre USA y la Unión Europea.

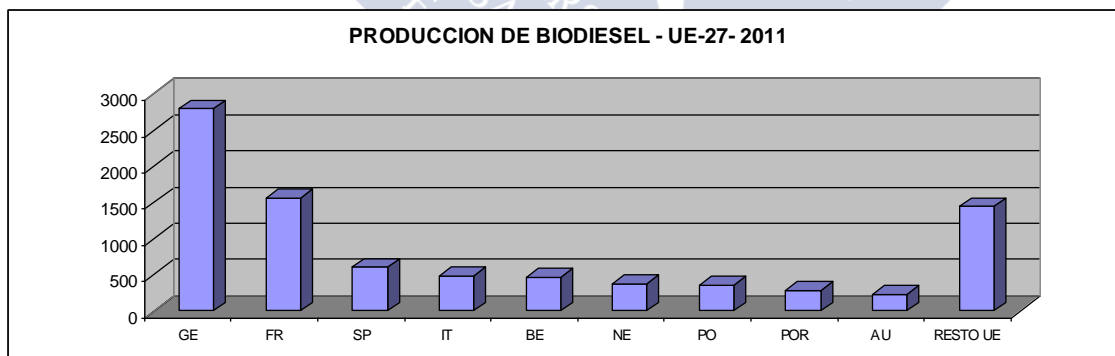
En Europa, como consecuencia de la aplicación de la Directiva 30/2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables en el transporte, se ha producido un aumento de la producción de biocarburantes. La producción de biodiésel en Europa, según la EBB (European Biodiesel Board), (2012), gráfico 1.1, se ha ido incrementando exponencialmente, de tal modo que la producción del año 2002 fue de 1.065.000 t, 3.184.000 t en el año 2005, 7.755.000 t del año 2008, en el año 2010 fue de 9.570.000 t, sin embargo la producción del año 2011 bajó a 8.607.000 t.

Gráfico 1.1. Evolución de la producción europea de biodiésel (miles de t). EBB, (2012)



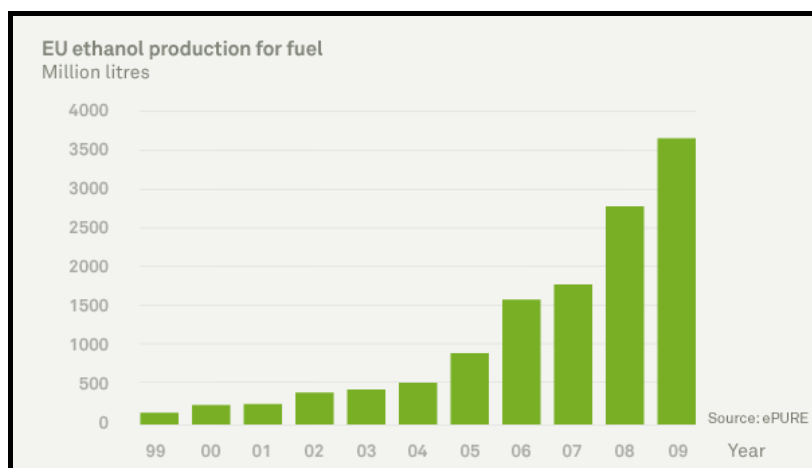
Por países, gráfico 1.2., Alemania es el mayor productor de biodiésel de la UE con 2.800.000 t/año, seguido de Francia con 1.559.000 t/año, España con 604.000 t/año, Italia con 479.000 t/año y Bélgica con 472.000 t/año. Según FEDIOL, (2014), la mayor parte de la producción de biodiésel en la UE se hace a partir de semilla de colza (66,8%), seguido del haba de soja (10,2%), aceites de cocina (9,3%), otros (7,1%) y de aceite de palma (6,6%). Ello implica que se produzca una gran cantidad de harina procedente de la extracción de la semilla de colza.

Gráfico 1.2. Producción por países de biodiésel (miles de t) dentro de la UE correspondientes al año 2011. EBB, (2012)

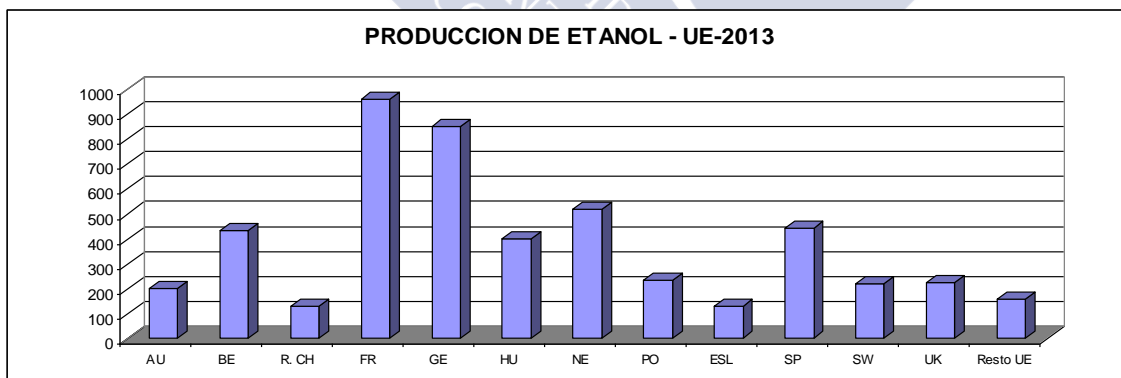


La producción de etanol en Europa, según ePURE, gráfico 1.3., se ha ido incrementando lentamente, de tal modo que la correspondiente al año 1993 fue solamente de 60.000 m³, pasando a 525.000 m³ en el año 2004. En los dos años siguientes la producción subió un 70%, de tal modo que desde el año 2007 el incremento fue exponencial pasando de 1.800.000 m³ a 3.700.000 m³ en el año 2009 y, posteriormente a 4.912.000 m³ en 2013.

Gráfico 1.3. Evolución de la producción europea de etanol (millones de litros). ePURE, 2015.



En el año 2013 los países europeos productores de etanol, gráfica 1.4., fueron en orden descendente, Francia (960.000 m³), Alemania (852.000 m³), Holanda (519.000 m³), España (443.000 m³), Bélgica (435.000 m³), Hungría (400.000 m³), seguidos de Polonia, Reino Unido, Suecia y Austria. La producción europea de etanol, de primera generación, que se ha fabricado en el año 2013 se ha producido a partir de maíz (47%), trigo (31%), pulpa de remolacha (14%), centeno (5%), melaza de remolacha (2%) y otros (1%). Ello implica un gran volumen de producción de granos secos de destilería con solubles (DDGS) a partir de dichos consumos.

Gráfico 1.4. Producción europea (EU-27) de etanol (miles de m³) en el año 2013. ePURE, 2015.

Así pues, la UE es, sobre todo, productora de biodiésel con un volumen de 8.607 Mt correspondientes al año 2011 frente a los 4.913.000 m³ del etanol que se produjeron en el año 2013.

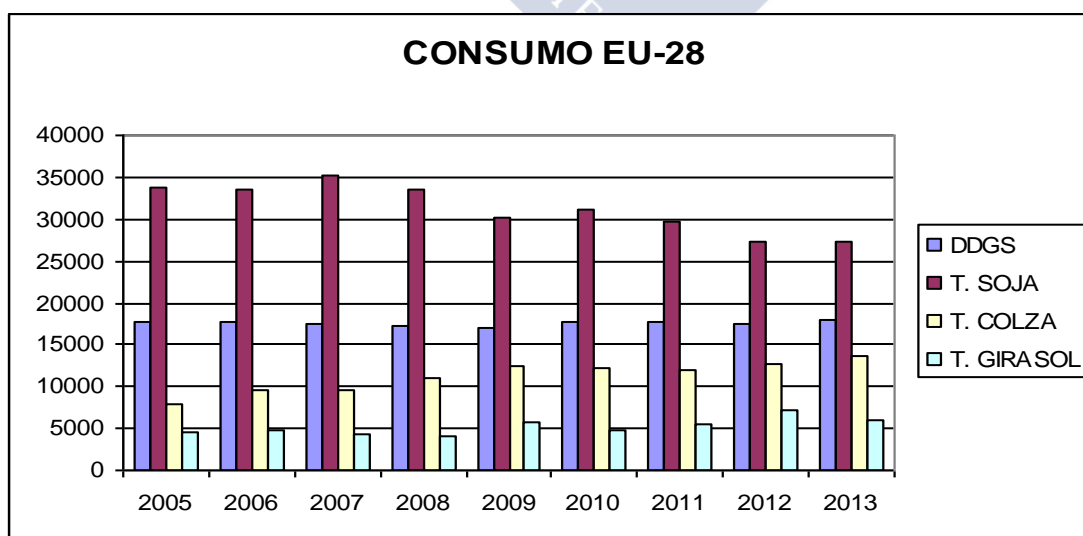
Comparado con USA y Brasil, el sector europeo de la producción de etanol es, todavía, pequeño. Para compararlo con USA cabe decir que la producción europea del año 2008 era la correspondiente a la producida en USA durante un mes. Pero mientras

que el mercado americano de biocombustibles está dominado por el etanol, el mercado europeo de biocombustibles es productor de biodiesel, fundamentalmente.

En España la capacidad de producción de etanol es de 545.000 m³, que se produce a partir de cereales (Abengoa Bioenergía, 2013). En España hay tres plantas operativas que utilizan maíz como materia prima: Ecocarburantes españoles (Cartagena) con una capacidad de producción anual 150.000 m³; Bioetanol Galicia (A Coruña) con una capacidad de producción de 195.000 m³; Biocarburantes de Castilla y León (Salamanca) con una capacidad de producción de 200.000 m³. Ello supone una capacidad de producción anual de DDGS de 335.000 t y un consumo equivalente de maíz de 1.115.000 t.

Debido a todo ello, la producción europea (EU-27) de semilla de colza se ha ido incrementando, desde las 15.687.000 t del año 2005 a las 20.906.000 t del año 2014 (EUROSTAT, 2015). En el gráfico 1.5., se puede ver la evolución del consumo de las materias primas proteicas, en donde, según FEDIOL, (2014), en el año 2005, el consumo de TC destinada a la alimentación animal fue de 7.795.000 t y en el año 2013 fue de 13.688.000 t, mientras que el consumo de torta de girasol (TG) en el año 2005 fue de 4.560.000 t y en el año 2013 fue de 6.029.000 t, el consumo de torta de soja (TS) para el mismo periodo fue de 33.798.000 y 27.312.000 t, respectivamente. El consumo de subproductos procedentes de la alimentación y del etanol pasó de 17.784.000 t en el año 2005 a 17.972.000 t en el año 2013 (FEFAC, 2013). Teniendo en cuenta que la producción de piensos en la UE-27, para el mismo periodo de tiempo, fue de 145.190.000 y 154.184.000 t, de ello se desprende que el uso de TS para la alimentación animal pasó del 23% del total del pienso fabricado en el 2005 a ser del 17,70% en el año 2013.

Gráfico 1.5. Evolución del consumo de materias primas proteicas (miles de t) en la UE-27 desde el año 2005 al 2013. FEFAC, 2013; FEDIOL, 2014.

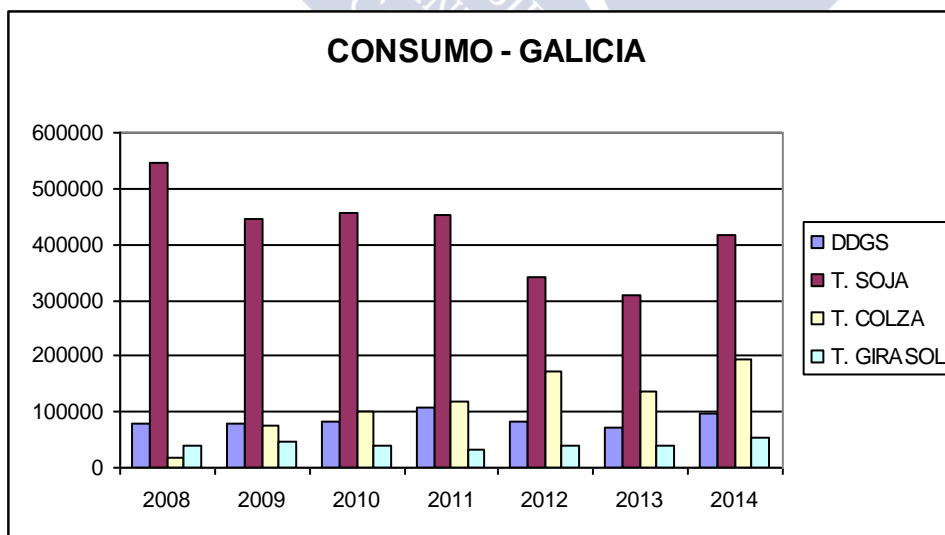


De acuerdo con las estadísticas elaboradas por AGAFAC¹, (2015), tabla 1.1 y gráfica 1.6., en Galicia el consumo de DDGS, TC, TG y TS correspondiente al año 2008 fue de 77.800, 17.941, 38.769 y 545.940 t/año, respectivamente y en el año 2013 fue 89.933, 155.015, 48.705 y 378.490 t/año, respectivamente. Teniendo en cuenta que la producción de piensos en Galicia en el año 2008 fue de 2.723.426 t/año y en el año 2014 fue de 2.909.027 t/año, ello supone que el consumo de TS, en relación al pienso fabricado, pasó del 20% al 14,3% del total de pienso producido, es decir, se redujo la dependencia de proteína de origen exterior a la UE y aumentó el consumo de otras fuentes de proteína vegetal.

Tabla 1.1. Consumo anual (t/año) de pienso y DDGS, TS, TC, TG y pienso en la Comunidad Autónoma de Galicia entre los años 2008 y 2014. Agafac, 2015

GALICIA, t/año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
DDGS	77.803	77.352	83.210	106.049	81.416	71.794	96.644
TS	545.940	444.734	455.098	451.525	339.571	308.261	415.621
TC	17.971	74.506	99.095	118.000	171.016	137.199	193.743
TG	38.769	45.451	38.790	33.859	40.415	40.684	52.491
Pienso	2.723.426	2.636.064	2.699.997	2.732.113	2.753.059	2.762.315	2.909.027

Gráfico 1.6. Evolución del consumo (t/año) de materias primas proteicas en Galicia (España) desde el año 2008 al 2014. AGAFAC, 2015



Este volumen de producción permite ofertar al sector de la alimentación animal estos nuevos ingredientes procedentes de la producción de biodiésel (TC) y del etanol

¹ AGAFAC: Asociación gallega de fabricantes de alimentos compuestos.

(DDGS) a precios competitivos y que pudieran reducir la dependencia de proteína en el sector de la alimentación animal.

1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

1.1.1. Objetivos generales e hipótesis

Existe un gran número de publicaciones relacionadas con la evaluación de la TC y los DDGS y su empleo en dietas de rumiantes. Casi todos los estudios llevados a cabo son de origen USA y Canadá y casi todos se han realizado con DDGS de maíz, y con variedades de colza canadiense. En la UE existen otros métodos de producción de etanol y de biodiésel, así como otras variedades de cereales y de semilla de colza. En la UE existen algunos trabajos para poder caracterizar estos ingredientes, hay alguno sobre caracterización de DDGS de diversas plantas europeas. En el caso concreto de España existen pocos trabajos de caracterización de los DDGS producidos por las plantas de producción españolas y su utilización en los rumiantes. Algo parecido ocurre con la TC, el origen de este ingrediente en el mercado español es el centroeuropeo y francés en donde los modos de obtención de la misma difieren de unos países a otros, por lo que sus características son diferentes a los de origen canadiense y su empleo en rumiantes en España está poco documentado. Por estas razones, el objetivo general de este trabajo es conocer el efecto de estos ingredientes sobre las producciones de vacas lecheras y el cebo de ternero en las condiciones de producción animal actuales y como hipótesis general comprobar que las materias primas procedentes de la obtención de los biocombustibles pueden sustituir total o parcialmente a la TS como fuentes de proteína. Para ello este trabajo de tesis doctoral se ha dividido en dos diferentes estudios y capítulos.

1.1.2. Objetivos específicos e hipótesis.

En el primer estudio (capítulo 3) el objetivo específico es comprobar que los DDGS de trigo, así como los DDGS de maíz y la TC pueden emplearse en vacas lecheras de producción moderada (8.000 litros) sin que se alteren sus parámetros productivos. La hipótesis específica es que la TS se puede sustituir por dichos ingredientes sin que afecte de forma significativa a los rendimientos zootécnicos ni a la calidad de la leche.

En el segundo estudio (capítulo 4) el objetivo específico es comprobar que los DDGS de maíz y la TC pueden emplearse en terneros durante el periodo de crecimiento y cebo intensivo sin que se alteren los parámetros productivos y de calidad de la canal.

La hipótesis específica es que la TS se puede sustituir de por dichos ingredientes sin que afecte de forma significativas a los rendimientos zootécnicos ni a la calidad de la canal.

1.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abengoa Bionergy. Informe anual, 2013. Disponible desde Internet en: http://www.abengoabioenergy.com/web/es/acerca_de/general/informes_anuales/
- Agafac, 2015. Estadísticas de producción de piensos y consumo de materias primas. Disponible desde Internet en: <http://www.agafac.es>
- DIRECTIVA 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables en el transporte.
- E.U.Ethanol production for fuel.Disponible desde Internet en:<<http://www.epure.org>>
- European Biodiesel Board. Producción europea de biodiésel. Disponible desde Internet en: <[http:// www.ebb-eu.org](http://www.ebb-eu.org)>
- Eurostat. 2015. Producción europea de colza. Disponible desde Internet en: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=fr&pcode=tag00104>>
- FEDIOL. 2014. Meals production, import, export and consumption. Disponible desde Internet en: <<https://www.fediol.eu>>
- FEFAC. 2013. Feed and food.Statistical Yearbook, 2013. Disponible desde Internet en: <<https://www.fefac.eu>>
- IEA (International Energy Agency). 2008a. World energy outlook 2008.Paris, France, OECD/IEA.
- Martin,N.What is the way forward for protein supply? The European perspective. OCL 2014, 21(4) D403. Disponible desde Internet en: <[https:// www.ocl-journal.org](https://www.ocl-journal.org)>
- Pinkney, J., 2009. Biofuels and the animal feed sector: How bio-refining crops can make better use of land to meet our needs for feed and low carbon biofuels. pp. 235-289. In: *Recent advances in animal nutrition*. Garnsworthy, P.C. Y Wiseman, J. eds. NottinghamUniversity Press. Nottingham. United Kingdom.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. TORTA DE COLZA

La TC es una harina proteica procedente de la extracción del aceite de la semilla de colza de la especie *Brassica napus* o *Brassica campestris*. En Canadá la semilla de colza se denomina canola y ha sido desarrollada a partir de variedades con bajo contenido en ácido erúico y glucosinolatos (GLS) (Newkirk, 2009), mientras que en Europa la semilla de colza se denomina doble cero y ambas contienen valores de ácido erúico (< 2%) y GLS (<30 $\mu\text{mol/g}$). A lo largo del tiempo se han ido desarrollando nuevas variedades de canola y semilla de colza 00 con el fin de mejorar su rendimiento productivo, también se han seleccionado para dotarlas de una mayor resistencia a las plagas, así como para mejorar la calidad del aceite y de la propia harina (Thomas, 2005; Diederichsen y McVetty, 2011). Asimismo, se ha realizado un esfuerzo con el fin de obtener una harina con mayor concentración de proteína, aminoácidos (AA), vitaminas, minerales y con una menor concentración de fibra y factores antinutricionales (Newkirk, 2011). A su vez, se ha mejorado la digestibilidad de los AA, la energía y los carbohidratos (Newkirk, 2009).

La semilla de colza y la canola ocupan el segundo lugar en el mundo en términos de producción de oleaginosas y tortas proteicas, representan el 13% del total y su producción se ha ido incrementando desde años anteriores (USDA, 2013).

Actualmente, la producción mundial es superior a los 60 Mt y los mayores productores en el mundo son Europa, China, Canadá y la India (USDA, 2013).

2.1.1. Proceso de producción de la torta de colza

El proceso de extracción del aceite de la semilla de colza incluye una serie de etapas que incluye el secado, limpieza y preparación de la semilla, a continuación viene la fase de extracción y procesado del aceite (Salunkhe et al., 1992; Unger, 2011). La extracción del aceite puede realizarse por medio de 2 métodos: extracción por solventes (hexano), o bien, por presión mecánica (Adams et al., 2006). Si se emplea la presión mecánica, el aceite se extrae usando presión en frío o doble presión (Adams et al., 2006; Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009).

Si se emplea la extracción por solventes (figura 1.), la semilla de colza se cuece a una temperatura comprendida entre 80 y 90 °C, previamente se hace una prepresión mecánica por medio de expellers, de este modo se obtiene entre un 50 y 60% del aceite

total. Posteriormente, el aceite residual que permanece se extrae por solventes, normalmente con hexano (Salunkhe et al., 1992; Newkirk, 2009). Después de la extracción del aceite, el solvente se recupera de la harina en un desolventador - tostador empleando una temperatura comprendida entre 80 y 115 °C, en este proceso se añade humedad con presión de vapor (Salunkhe et al., 1992; Newkirk, 2009). Este método se denomina extracción por solventes con prepresión, resultando una harina que contiene más de un 3% de aceite (Sauvant et al., 2004; Newkirk, 2009). El método de doble prensado es similar al de extracción por solventes con prepresión, pero no se utiliza la extracción del solvente ni la eliminación del solvente ni el secado ni el enfriado. En vez de prepresión, las semillas de colza se someten a una segunda presión para recuperar el aceite restante. La concentración de aceite es mas alta por este método de tal modo que está comprendido entre el 8 y 10% (Newkirk, 2009).

En el método de presión en frío, las semillas de colza no se preacondicionan antes de la presión por expellers y la temperatura se mantiene a 60 °C durante todo el proceso mecánico (Adams et al., 2006). La concentración de aceite en la harina resultante oscila entre 11 y 13% (Spragg y Mailer, 2007; Seneviratne et al., 2010; Woyengo et al., 2010).

El efecto del procesado sobre la calidad de la harina ha sido revisado por Newkirk (2009) y considera 3 factores importantes: temperatura, humedad e incorporación de aditivos (gomas y jabones). Durante la cocción de la semilla, la temperatura oscila entre 80 y 90 °C y la humedad está comprendida entre 6 y 10%. Este paso es necesario para inactivar la enzima mirosinasa con el fin de prevenir la hidrólisis de los GLS en metabolitos tóxicos. Sin embargo, un exceso de calor puede provocar reacciones de Maillard que causan daños en las proteínas, como consecuencia se reduce la digestibilidad de los AA, sobre todo la lisina (Bell, 1993; Newkirk et al., 2003). Al final del proceso se añaden gomas y jabones con el fin de reducir el exceso de polvo de la harina. Esta adición hace incrementar la cantidad total de aceite entre el 1 y el 2% (Spragg y Mailer, 2007, Newkirk, 2009).

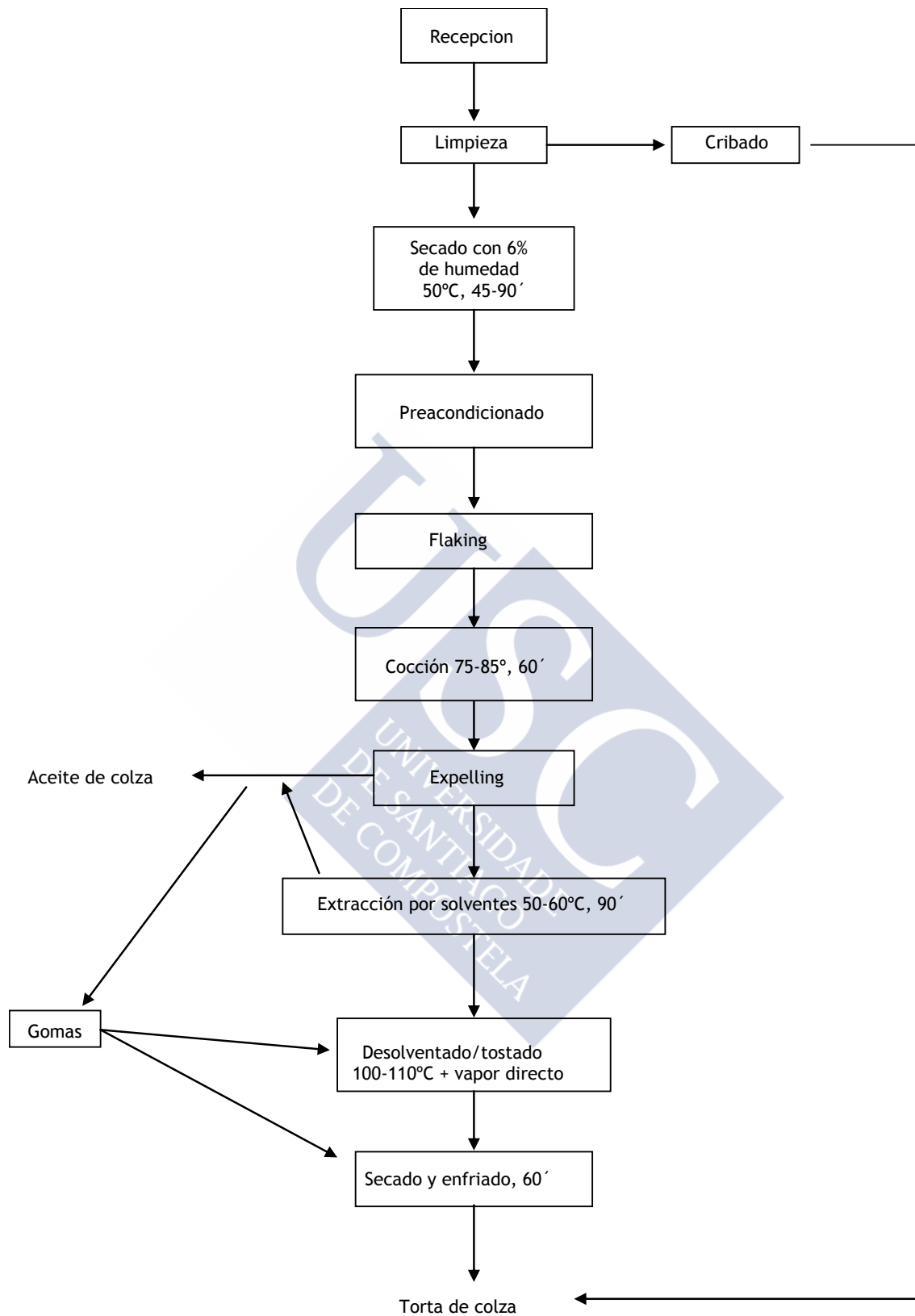


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la producción de torta de colza por el método de prepresión con solventes. Newkirk, 2002.

2.1.2. Características nutricionales de la TORTA DE COLZA

El diámetro de la semilla de canola o de colza está comprendido entre 1,5 y 2,5 mm y el color puede variar entre negro, marrón y amarillo. La semilla de canola contiene de 40 a 42% de grasa bruta (GB) y de 20 a 30% de PB (proteína bruta) (Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009). En las tablas FEDNA² (2010) se indica que las semillas de colza contienen un 40,7% de GB y un 19,0% de PB. La concentración de aceite en la semilla de colza ha ido aumentando con el tiempo de tal modo que la PB tiende a disminuir (Barthet y Daun, 2011). Sin embargo, los factores que más afectan a la composición de la misma son las condiciones ambientales durante su fase de crecimiento tales como la humedad del suelo, el frío o calor ambiental, así como el tiempo de almacenamiento (Bell, 1993; Newkirk, 2009; Barthet y Daun, 2011). Durante el almacenamiento en tiempo frío y húmedo se produce una mayor concentración de aceite y clorofila frente a las semillas que se almacenaron en tiempo caluroso y seco (Barthet y Daun, 2011). La composición química de las semillas también está afectada por la variedad cultivada, de tal modo que la concentración de aceite y PB es mayor y la fibra bruta (FB) es menor en las semillas amarillas que en las semillas de variedades marrones (Bell y Shires, 1982). Por lo tanto, en las variedades amarillas la proporción de FB es menor y la proporción de aceite y PB es mayor que la harina procedente de variedades negras (Slominski et al., 2012; Trindade Neto et al., 2012).

2.1.2.1. Proteína

La harina de canola y la TC obtenidas por solventes tienen mayor concentración de PB y AA y menor concentración de aceite que las harinas obtenidas mediante presión (Sauvant et al., 2004; Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009; Seneviratne et al., 2010). Según Yildiz y Todorov (2014), la semilla de colza contiene, aproximadamente 40% de aceite y 22% de PB. Después de la extracción del aceite, la TC contiene entre un 32 y 40% de PB dependiendo de la variedad de colza, las condiciones de cultivo y el procesado de la semilla. La cantidad remanente de aceite oscila entre el 2 y el 4% y la FB entre el 11 y el 14%. La harina de canola y la de colza 00 contienen de 33,7 a 37,5% de PB, mientras que las harinas obtenidas mediante presión contienen de 31,2 a 35,2% de PB. La concentración de PB y AA dependen de las variedades, los factores ambientales y composición de la semilla, la cantidad de aceite residual y de los carbohidratos de la harina (Bell y Keith, 1990; Bell, 1993; Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009). Las variedades de semillas que contienen mayor concentración de PB y AA producen unas harinas con mayor proporción de PB y AA (Bell, 1993; Slominski et al., 2012). La eficiencia de recuperación de aceite utilizando el procedimiento de

² FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

extracción por solventes es mayor que si se extraen por el procedimiento mecánico. Así pues, la concentración del aceite residual en las harinas extraídas por solventes es menor que la de las harinas obtenidas mediante presión (1 a 2% vs. 8 a 13%), lo que resulta en una mayor concentración de PB y AA. La eliminación de la cascarilla reduce la concentración de FB, FND, FAD y también incrementa la concentración de PB (Bell, 1993).

La degradabilidad ruminal de la TC tiene un valor del 70% con una digestibilidad de la proteína no degradable en el rumen (PNDR) del 80%, frente al valor de degradabilidad ruminal teórica (DT) de la TS del 65% y una digestibilidad de la PNDR del 95% (FEDNA, 2010). Los valores encontrados, para una tasa de paso de 5%/h (INRA (2002) para la DT de la TC y TS es de 69 y 63% y la digestibilidad real de la PNDR es del 79 y 95%, respectivamente. El NRC (2001) indica un valor de PNDR del 35,7% y una digestibilidad en el intestino del 75%. Sadeghi y Shawrang (2006) indican valores de degradabilidad ruminal del 66,5% de la TC para una tasa de paso del 5%/h.

El perfil de AA de la TC es mayor que en la mayoría de las fuentes proteicas vegetales, de tal modo que el contenido en lisina es de 5,6% del total de la PB frente a 6,15% de la TS, mientras que el de metionina es de 2,01% del total de la PB frente a 1,43% de la TS (FEDNA, 2010). La TC tiene una alta concentración de metionina, cistina y treonina, mientras que la concentración de lisina y triptófano es menor que en la TS (Newkirk, 2009; Khajali y Slominski, 2012).

En la tabla 2.1., se muestra el contenido de AA de la proteína microbiana, la TC, TS, gluten de maíz, torta de semilla de algodón, TG y DDGS de maíz expresados como porcentaje de la composición de AA de la PB de la leche. Según ello, la TC es una excelente fuente de histidina, triptófano, treonina y AA azufrados comparado con el resto de las fuentes proteicas. La TC tiene el mejor balance de AA, como lo indica el nivel relativamente alto de su primer aminoácido limitante, la leucina (Canola Council, 2009).

Tabla 2.1. Comparación entre la composición en AA contenidos en la leche, la proteína microbiana y varios concentrados proteicos. Canola Council, 2009.

	Leche %	Proteína microbiana	TC	TS	Gluten de maíz	Torta de algodón	TG	DDGS de maíz
Arginina	7,2	139	197	225	99	361	288	149
Histidina	5,5	73	138	111	85	120	113	120
Isoleucina	11,41	107	83	89	80	64	87	86
Leucina	19,5	81	82	88	190	71	133	130
Lisina	16	119	84	87	23	61	50	37
Metionina	5,5	84	85	58	95	67	102	87
Fenilalanina	10	104	103	116	141	125	110	34
Treonina	8,9	121	113	98	84	85	98	102
Triptófano	3	90	115	93	40	93	97	77
Valina	13	85	88	78	79	77	90	96

La TC optimiza la cantidad de AA absorbibles en vacas lecheras porque proporciona cantidades adecuadas de proteína degradable en el rumen que, a su vez, estimula la producción de proteína microbiana, en un estudio de Brito et al., (2007) se observó un mayor flujo en el abomaso de proteína microbiana en vacas alimentadas con TC, en comparación con torta de algodón y TS.

La fracción de PNDR de la TC contiene un perfil de AA esenciales que corresponde muy de cerca con el de la PB de la leche. La mejor producción de leche que se observa con la TC se atribuye al perfil de AA de la fracción no degradada de la TC, que es complementaria con la proteína microbiana (Brito et al., 2007). Este mismo autor indica que el flujo post ruminal de AA totales y AA esenciales cuando se usa TC como suplemento proteico es mas alto o por lo menos comparable a cuando se suplementa con TS o torta de algodón.

El empleo de alta temperatura en el proceso de obtención de la TC hace disminuir la disponibilidad de AA, sobre todo la lisina (Newkirk et al, 2003a; 2003b). Después de 12 h de incubación en el rumen, la digestibilidad de los AA en el rumen es del 85% (Kendall et al., 1991). El porcentaje de nitrógeno ligado a la FND (FNDN), expresado como porcentaje del total de la PB, se usa como índice para evaluar la disponibilidad de la proteína (Newkirk et al., 2000). Se ha visto que valores por debajo del 10% se corresponden con un 85% de disponibilidad de la lisina en pollos. La digestibilidad de la lisina de la PNDR de la TC es del 75% (NRC, 2001).

La exposición a alta temperatura durante el proceso de eliminación del solvente produce un incremento cuadrático del contenido de FNDN. Si la temperatura empleada durante el proceso de eliminación del solvente es inferior a 100 °C se puede conseguir una harina sin deterioro de la proteína. Otro factor que afecta al deterioro de la PB es el incremento de humedad durante la fase de eliminación del solvente que produce un incremento de FNDN y una reducción del contenido de AA, sobre todo de lisina, la harina producida de este modo es mas oscura al incrementarse la temperatura (Classen et al., 2004).

Para el caso de la PB, FEDNA (2010) indica valores de 33,8%, según Canola Council (2009) el valor es de 35% y según INRA (2002) el contenido es del 33,7%, mientras que el NRC (2001) se indica un contenido de PB del 37,8% sobre MS. Los valores medios obtenidos durante los años 2012, 2013 y 2014 de los autocontroles de GMP.Galis³ fueron 34,3, 35,1 y 34,1%, respectivamente.

2.1.2.2. Energía

La TC contiene un valor energético que está condicionado por su alto contenido en FND (28%) y fibra digestible, principalmente pectina (7%), ello le da un contenido en energía por kg de materia fresca (MF) de 0,85 UFL y 0,80 UFC en comparación con la TS 47 que tiene 1,04 UFL y la TG-34 con un valor de 0,75 UFL (FEDNA, 2010). Los valores de energía encontrados en INRA (2002) son de 0,85 UFL y 0,80 UFC. Los valores encontrados en el NRC (2001), expresados en kg de materia seca (MS), es de 1.760 kcal/kg de energía neta leche (ENL), 1.880 kcal/kg de energía neta de mantenimiento (ENM) y 1.130 kcal/kg de energía neta de la ganancia (ENG). Según se indica en el Canola Council (2013) para una MS del 88%, el valor de ENL de 1.580 kcal/kg, ENM de 1.690 kcal/kg y ENG de 1.130 kcal/kg, por cada kg de MS.

2.1.2.3. Hidratos de carbono

Los hidratos de carbono presentes en la semilla de colza y otras oleaginosas del género brassica se clasifican en azúcares solubles, carbohidratos insolubles y fibra (Barthet y Daun, 2011). La concentración de hidratos de carbono solubles es aproximadamente del 10% del peso libre de grasa, del que la sucrosa oscila entre el 3,9 y 9,8%, la rafinosa está comprendida entre el 0,3 y el 2,6%, la estaquiosa es del 0,8 a 1,6%, la fructosa oscila entre el 0,1 y el 0,5% y la glucosa entre el 0,1 y el 0,4% (Barthet y Daun, 2011). La concentración de hemicelulosa es aproximadamente del 3%, la celulosa oscila entre el 4 y 5% y el almidón sería del 1% (Salunkhe et al., 1992). Los

³GMP.Galis: Programa GMP Galicia alimentos seguros. Sistema de aseguramiento de la calidad de los alimentos destinados a alimentación animal de la asociación gallega de fabricantes de alimentos compuestos, AGAFAC.

valores de Canola Council (2009) para el almidón es de 0,6% y FEDNA (2010) e INRA (2002) consideran que no contiene almidón. Según Canola Council (2009), el contenido en azúcares es del 7,8%, y el de oligosacáridos es del 2,2%. El total de polisacáridos no amiláceos en la TC es del 15%, aproximadamente.

La concentración de FB, FND y FAD oscila entre el 10 y 12%, entre el 22 y 30% y entre el 15 y 20%, respectivamente. En las harinas obtenidas por presión la concentración de FB, FND y FAD oscila entre 7 y 12%, entre 24 y 28% y entre 17 y 18%, respectivamente (Sauvant et al., 2004; Spragg y Mailer, 2007; Mailer et al., 2008; NRC, 2012). Según FEDNA (2010), el contenido de FB es del 12,4%, el de la FND es del 28,9%, el de la FAD es 19,8% y el de la lignina ácido resistente (LAD) es del 6,5%, mientras que los valores encontrados en las tablas INRA (2002) son, 12,4, 19,6, 28,3 y 9,5%, respectivamente. En el caso de Canola Council (2009), los valores son de 11,7, 16,8, 20,7 y 5,1%, respectivamente. En el NRC (2001) se indica unos valores de FND, FAD y LAD de 29,8%, 20,5% y 9,5%, respectivamente. Los valores medios obtenidos para la FB durante los años 2012, 2013 y 2014 de los autocontroles de la empresa GMP.Galis fueron de 13,30, 12,90 y 13,105%, respectivamente.

La TC es relativamente alta en fibra porque la cascarilla de las semillas permanecen en la harina (Newkirk, 2009; Barthet y Daun, 2011). Sin embargo, los programas de mejora de las variedades de colza han desarrollado variedades con valores más altos de aceite y PB que las variedades tradicionales. Estas nuevas variedades contienen menos fibra comparadas con la TC convencional (Spragg y Mailer, 2007).

2.1.2.4. Minerales

Las diferencias en la concentración de minerales en las distintas fuentes de colza son como consecuencia de las diferencias en la concentración de minerales en el suelo, así como de las condiciones ambientales presentes durante el cultivo (Bell y Keith, 1990; Mahan et al., 2005). La TC es rica en Ca, P y Se en comparación con la TS (Bell, 1993; Newkirk, 2009; NRC, 2012). La concentración de Ca, P y Se oscila entre 0,7 a 1,1%, de 1 a 1,1% y 1,1 mg/kg, respectivamente. Sin embargo, en la TS descascarillada el contenido es de 0,33%, 0,71% y 0,27 mg/kg, respectivamente (Sauvant et al., 2004; FEDNA, 2010; NRC, 2012). Los valores medios obtenidos para el Ca y P durante los años 2012, 2013 y 2014 de los autocontroles de GMP.Galis son de 0,72 y 1,05%; 0,70 y 1,09%; 0,71 y 1,02%, respectivamente. Sin embargo, en la TC el 85% de fósforo (P) total está en forma de P fítico, teniendo valores de digestibilidad comprendidos entre el 25-30% (Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009). La concentración de minerales no se ve afectada por el proceso y no se han visto diferencias entre las harinas obtenidas por solventes o por presión (Spragg y Mailer, 2007). Sin embargo, la concentración de sodio en las harinas varía dependiendo de la adición de jabón a la harina (Newkirk,

2009). Por su riqueza en fibra y ácido fólico, entre el 3 y 6%, la disponibilidad de Ca, Mg, P, Zn, Cu y Mn es baja (FEDNA, 2010).

2.1.2.5. Glucosinolatos

Los GLS son tioglucósidos y son metabolitos secundarios de las plantas del género *Brassica*, entre los que se encuentran *B. napus* (colza y canola), *B. campestris* (nabo) y *Sinapsis alba* (mostaza blanca) y todos los géneros de la familia de las Brassicaceae (Frohne y Pfander, 2005). Estas sustancias se encuentran presentes en todas las partes de las plantas con mayor concentración en las semillas. Muchas de las especies de este género (*Brassica*) son importantes alimentos de consumo humano como la coliflor, calabaza, brócoli y grelos, entre otros. Los GLS y sus productos son los responsables del típico sabor amargo de estos vegetales.

Hasta la fecha actual se han identificados más de 140 GLS diferentes (Chen y Andreasson, 2001). Estas sustancias se sintetizan a partir de AA y según del aminoácido del que deriven se clasifican en alifáticos si proceden de la metionina, indólicos si proceden del triptófano y aromáticos si proceden de la fenilalanina (Fahey et al., 2001, Francisco et al., 2009).

La cantidad de GLS en las plantas varía de forma estacional, de tal modo que bajo condiciones de estrés hídrico durante el periodo vegetativo de la planta se incrementa el contenido en las semillas (Jensen et al., 1996). En condiciones de calor y con déficit de agua se produce un incremento de la síntesis de AA y azúcares, que son los precursores de la biosíntesis de estas sustancias. Por lo tanto, las variaciones climáticas entre los países tropicales y los países templados explicarían la diferencia en el contenido y la composición de los GLS presentes en la TC. Factores ambientales como la radiación solar, las oscilaciones de temperatura y las condiciones climáticas dentro de una misma región geográfica afectan al contenido total de GLS de tal modo que a medida que aumenta la temperatura media diaria se produce un aumento de epiprogoitrina (Bohinc et al., 2012). El contenido de GLS presentes en la TC también varía según las especies cultivadas, así pues hay variedades denominadas doble 00 con bajo contenido en GLS. Estas variedades son las cultivadas en Canadá (canola), Europa, Australia y otros países de zonas templadas.

La extracción del aceite tiene un efecto sobre el contenido de GLS, así las harinas obtenidas mediante extracción por solventes contienen cantidades mayores de GLS que en el caso de que las harinas hayan sido previamente descascarilladas. Las harinas que se han obtenido mediante presión presentan niveles más bajos que las extraídas por solventes (Tripathi et al., 2007).

La enzima mirosinasa puede degradar los GLS en otros productos como tiocianatos, isotiocianatos, oxazolidinetionina y nitrilos que tienen efectos negativos sobre los animales (Etienne y Dourmad, 1994; Tripathi y Mishra, 2007; Newkirk, 2009). Estas sustancias pueden causar bocio, hemorragias hepáticas, sabor amargo y reducción de rendimientos productivos en los animales (Salunkhe et al., 1992; Etienne y Dourmad, 1994; Schone et al., 2001; Newkirk, 2009). Sin embargo, la mirosinasa se inactiva por el calor durante el proceso de prepresión y el proceso de extracción del aceite, posteriormente el nivel de GLS también se reduce por el tratamiento térmico durante el proceso de tostado y eliminación del solvente (Bell y Keith, 1990; Salunkhe et al., 1992; Jensen et al., 1994; Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009).

Los efectos adversos de los GLS sobre los animales dependen de la cantidad y la composición de los mismos, así como los productos procedentes de la hidrólisis. Las diferentes especies animales tienen diferente nivel de tolerancia. Así, la especie porcina se considera de mayor susceptibilidad, de tal modo que los lechones son los que más afectados pueden verse (Corino et al., 1991). Con niveles de 1,34 o 2,79 $\mu\text{mol/g}$ se reduce el consumo y el crecimiento en la especie porcina (Bell et al., 1991). En el caso de cerdas, un nivel de 1 $\mu\text{mol/g}$ causa hipertrofia de la glándula tiroidea. El total de GLS contenido en las dietas de porcino debería ser inferior a 2,1 $\mu\text{mol/g}$ y se recomienda proporcionar 1 ppm de yodo como suplemento con el fin de reducir el efecto de estas sustancias (Opalka et al., 2001; Shöne et al., 2001). En el caso de pollos, como su periodo de producción es corto (6-8 semanas) no es tiempo suficiente para que niveles altos de GLS produzcan efectos adversos. Con un total de GLS sobre 8 $\mu\text{mol/g}$ en la dieta se produce severa depresión del crecimiento, aunque Leeson et al. (1987) encuentran niveles de tolerancia a los GLS hasta los 11,6 $\mu\text{mol/g}$. Los efectos más negativos se producen en gallinas ponedoras y en pavos. Según Tripathi et al., (2003), los conejos toleran niveles de 7,9 $\mu\text{mol/g}$. La razón es que su periodo productivo es corto y no hay tiempo suficiente para producir efectos adversos. En el caso de los rumiantes, éstos son más tolerantes a los GLS y los adultos más que los jóvenes. La acción de la microflora ruminal induce la transformación de los GLS y/o sus metabolitos (Mandiki et al., 2002). Aunque estos animales son tolerantes, si se produce ingestión de GLS durante mucho tiempo se pueden observar evidencias de goitrogenicidad, elevados niveles plasmáticos de tiocianatos y depresión de niveles plasmáticos de tiroxina (Vincent et al., 1988; Tripathi et al., 2001a). En el caso de vacas lecheras, dietas con alto contenido de TC baja en GLS produjo depresión de la fertilidad y trastornos tiroideos (Ahlin et al., 1994). Una cantidad de GLS comprendida entre 11,7 y 24,3 $\mu\text{mol/g}$ redujo la ingestión y la producción en vacas lecheras (Waldern, 1973; Laarveld et al., 1981c). Durante el crecimiento de terneros una dieta que contenía 2,4 $\mu\text{mol/g}$ no afectó ni a la glándula tiroidea, ni a las funciones hepáticas, ni al crecimiento

(Anderssen y Sorensen, 1985). Un nivel de GLS comprendido entre 10 y 15 $\mu\text{mol/g}$ no afectó al crecimiento ni a la conversión de la cría de novillas (Bush et al., 1978).

En Canadá, la canola se introdujo en el año 1975 y desde entonces el nivel medio de GLS ha ido declinando desde 80 hasta 25 $\mu\text{mol/g}$ en el año 1985. Según los datos de Canadian Grain Comisión, el nivel de GLS de la campaña del año 2011 fue de 10,3 $\mu\text{mol/g}$ de la semilla. Se consideran variedades doble cero las que contienen un valor de GLS totales alifáticos $<30 \mu\text{mol/g}$ (Classen, 2010). En un informe de Schumann, (2005) se indica que el contenido medio de GLS en la TC producida en Alemania en los años 2000, 2001 y 2002 fue de 14,5, 12,9 y 12,7 $\mu\text{mol/g}$, respectivamente. En años siguientes, 2005, 2006 y 2007 los valores medios fueron de 8,1, 7,7 y 9,4 $\mu\text{mol/g}$, respectivamente (Weber, 2008). Los valores medios encontrados sobre 16 muestras de TC en los autocontroles de GMP.Galis fueron de 8,96 $\mu\text{mol/g}$ con valores comprendidos entre 5,3 y 15,6 $\mu\text{mol/g}$, siendo la progoitrina la sustancia de mayor concentración con un valor medio de 4.52 $\mu\text{mol/g}$.

2.1.2.6. Ácido fítico

La concentración de P en los productos de la colza oscila entre el 1,0 y 1,1% (Liu et al., 1998; Newkirk, 2009; NRC, 2012), pero aproximadamente el 85% está en forma de ácido fítico (Spragg y Mailer, 2007; Newkirk, 2009). La digestibilidad del P en cerdos y pollos es del 25-30% del total de P (Sauvant et al., 2004; FEDNA, 2010; NRC, 2012). Sin embargo, el proceso de extracción del aceite afecta a la disponibilidad del P. La presión mecánica provoca que una parte del P del P fítico se libere de tal modo que ello tendría un efecto positivo en la digestibilidad del mismo (Spragg y Mailer, 2007).

2.1.2.7. Sinapina

La sinapina es un éster fenólico presente en las plantas de la familia de las *Cruciferae*, como la semilla de colza. Se trata de un éster de colina con ácido sinápico (Lajolo et al., 1991) que le da un sabor amargo a la TC por lo que puede producir una reducción del consumo por parte del animal (Clandinin, 1961). La sinapina puede dar lugar a sabor a pescado en huevos cuando se usa TC en gallinas ponedoras (Perez-Maldonado, 2002) al fermentarse la colina en el intestino y producirse trimetilamina que por vía porta puede depositarse en la yema del huevo (Ward et al., 2009). Los valores de sinapina en la TC son variables y oscila entre 7,7 y 11,5 g/kg en variedades de canola cultivada en Sudáfrica (Brand et al., 2007), Bell (1984) indica que el contenido de sinapina es de 1% y hay referencias que indican valores comprendidos entre 1,0 y 1,5% (Pérez-Maldonado, 2002; Mailer, 2004). FEDNA (2010) indica valores comprendidos entre 0,6 y 1,8%.

2.1.2.8. Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos con diferentes pesos moleculares que están presentes en la TC (Kozłowska et al., 1990). Los taninos producen efectos negativos sobre los rendimientos productivos afectando negativamente al consumo de alimento, la ganancia de peso y el IC. También pueden afectar negativamente a la digestibilidad de la PB y los AA, así como al aprovechamiento de la energía, pero ello depende de la concentración de taninos en la dieta (Jansman, 1993). Sin embargo, la mayor parte de los compuestos fenólicos se eliminan durante el proceso de extracción del aceite (Kozłowska et al., 1990), la harina de canola suele contener menos de 1,5% de taninos (Mailer, 2004). FEDNA (2010) indica valores de taninos comprendidos entre el 1,6 y 3,1%.

2.2 DDGS DE MAIZ Y DE TRIGO

Los DDGS es el principal producto obtenido a partir de la fermentación de los granos de cereales para la producción de etanol, se trata de un producto que tiene una alta concentración de PB y que es más adecuado para la alimentación de rumiantes.

2.2.1. Proceso de producción de etanol

La actual producción de etanol en España se realiza a partir de cereales, sobre todo de maíz. Durante el proceso, el almidón se convierte en glucosa a través de la adición de enzimas y finalmente se fermenta a etanol.

En las modernas plantas de producción de etanol se emplea el método de molienda en seco, figura 2., en donde de 100 kg de grano se producen 40 l de etanol, 32 kg de dióxido de carbono y 32 kg de DDGS (Schingoethe, 2006).

Este proceso está diseñado para fermentar la mayor cantidad de grano para obtener la mayor cantidad de etanol posible, el proceso tiene los siguientes pasos: molienda, cocción, licuado, sacarificación, fermentación y obtención de los subproductos. Estos pasos se describen de acuerdo a Bothast y Schlicher (2005) del modo siguiente: (1) el grano de cereal entero se muele de forma muy fina con molinos de martillos y se mezcla con agua para formar un líquido espeso. (2) La acidez de este volumen se ajusta a pH 6,0 y se adiciona una enzima alfa-amilasa que es termoestable con el fin de romper las cadenas del almidón. Posteriormente se calienta sobre 100 °C en un cocedor, con el fin de que las moléculas de almidón se hidrolicen. (3) A continuación, la temperatura se baja a 80-90 °C y se realiza una nueva adición de alfa-amilasa y el conjunto se licua al menos durante 30 minutos, tiempo necesario para reducir el tamaño de las moléculas de

almidón. (4) Después se enfría, se ajusta el pH a 4,5 y se añade la enzima gluco-amilasa para convertir el almidón en glucosa a través de un proceso denominado sacarificación. (5) Cuando la temperatura llega a 32 °C, el volumen se transfiere a un depósito de fermentación donde se añade la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Además, se puede adicionar sulfato amónico o urea como fuente de nitrógeno (N) para favorecer el crecimiento de la levadura. El proceso de fermentación dura entre 48 y 72 h. (6) El etanol se obtiene por un proceso de destilación y se concentra por medio de un proceso de deshidratación. (7) Después de la destilación y obtenido el etanol, se obtiene una masa líquida con el sólido fermentado.

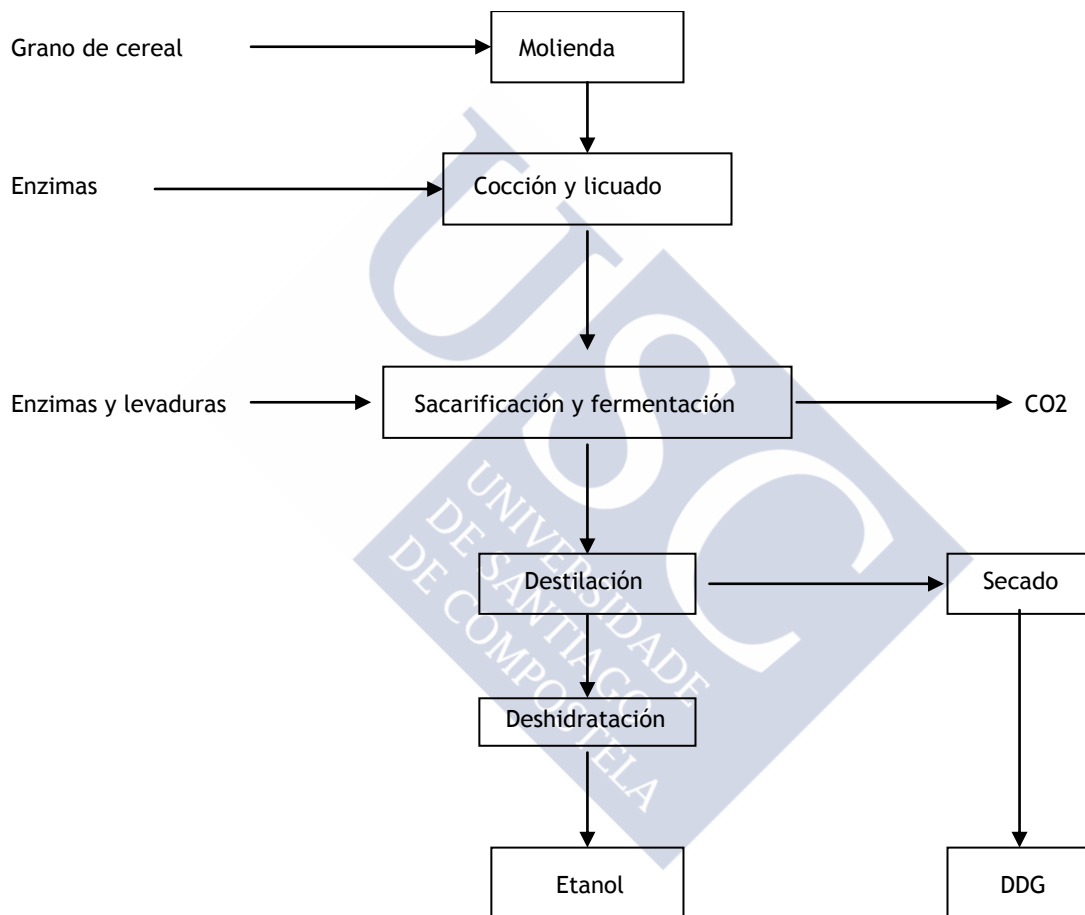


Figura 2.2. Diagrama de flujo de la producción de etanol por el método de molienda en seco. Bothast y Schlicher, 2005.

El conjunto de esta masa obtenida después de la destilación es sometida a distintos procesos para obtener diferentes subproductos. Todas los diferentes tipos de productos que se obtienen pueden usarse en alimentación animal, aunque los DDGS suelen ser el producto más importante. El producto obtenido tras la destilación contiene porciones de granos no fermentados y, o bien, se centrifuga (Kingsly et al., 2010) o bien, se someten a extrusión o presión (Bothast y Schlicher, 2005) con el fin de separar los sólidos

insolubles de la porción líquida. Esta porción líquida, que contiene un 5-10% de sólidos (Belyea et al., 1998) es posteriormente condensada eliminando parte del agua, son los denominados CDS (condensed distiller's solubles) (Cao et al., 2009) que tienen un contenido en sólidos del 30-50% (Kingsley et al., 2010). Aunque no es común, los CDS pueden usarse en alimentación animal (Schingoethe, 2006; Belyea et al., 1998).

La porción de sólidos insolubles se denomina WDG (wet distillers grains) y contiene entre un 65 y 70% de humedad (Kingsly et al., 2010). Cuando los WDG se secan, el resultado se denomina DDG (dry distillers grain). Cuando los CDS se añaden a los WDG, el producto resultante se denomina WDGS (wet distillers grains with solubles), este producto se puede usar directamente en alimentación animal, pero es un producto de baja vida media, sobre una o dos semanas (Bothast y Schlicher, 2005), debido a que tiene un alto contenido en humedad, sobre el 70%, aproximadamente (Birkelo et al., 2004; Schingoethe et al., 1999). Los WDGS se pueden secar para obtener finalmente los DDGS con un contenido en humedad comprendido entre el 10 y el 13% (Kingsly et al., 2010; Berger y Singh, 2010).

2.2.2. Características nutricionales de los DDGS de maíz y trigo.

Durante el proceso de producción de etanol, a los DDG pasa toda la proteína, grasa, fibra y minerales contenidos en el grano de cereal de donde procede, además se incluye la levadura desarrollada durante el proceso de fermentación y pequeñas cantidades de los aditivos usados en el proceso. Se asume que aproximadamente un tercio de la MS del grano de cereal se convierte en etanol, un tercio se transforma en DDG y el otro tercio se volatiliza en forma de dióxido de carbono (Saunders et., al 2009).

Una vez que el almidón es fermentado, los componentes que permanecen en los DDGS se concentran aproximadamente tres veces comparados con los del grano de cereal de procedencia. Estos productos se caracterizan por tener un alto contenido en PB, GB, FND, cenizas y bajo contenido en almidón. Ello lo hace atractivo para usarse en dietas de rumiantes. Sin embargo, las propiedades nutricionales de los DDGS pueden variar de forma notable (Spiehs et al., 2002). Shurson (2005) indica que la composición de nutrientes es diferente si se comparan las viejas con la nueva generación de plantas de producción de etanol. Ello explica los altos valores de PB y energía de los DDGS actuales comparados con los viejos valores que se encuentran en las tablas del NRC del año 2001 (Birkelo et al., 2004). Esta variación de composición puede atribuirse a la mejora generalizada de la industria de procesamiento de la producción de etanol así como la falta de procedimientos analíticos estandarizados (Kim et al., 2008). De mayor interés es la variabilidad entre la nueva generación de plantas (Cromwell et al., 1993; Spiehs et al., 2002; Kleinschmit et al., 2007) e incluso dentro de una misma planta a lo largo del

tiempo (Belyea et al., 2004; Shurson, 2005), ello es debido a las diferentes materias primas y procesos. Por ello, es conveniente realizar análisis completos de forma periódica para tener en cuenta dicha variabilidad y caracterizar convenientemente estos productos (Spiehs et al., 2002).

2.2.2.1. Proteína.

Los DDGS son una excelente fuente de PB para rumiantes. Sobre MS, se encuentran valores de PB entre 26,8 y 33,7 % para los DDGS de maíz y de 30,5 a 45,8% para los DDGS de trigo. La variación encontrada en las diferentes clases de DDGS es debida al tipo de cereal empleado en el proceso y dentro de cada cereal, el área geográfica, la fertilización del suelo y el tipo de procesado (Dong et al., 1987b). Algunas plantas de etanol eliminan el germen y el pericarpio y obtienen un DDGS con mas proteína, menos fibra y mas grasa (Martínez-Amezcueta et al., 2007). El contenido en proteína de los DDGS también se incrementa con la cantidad de levadura utilizada. El crecimiento de la levadura durante el proceso de fermentación genera una masa celular rica en proteína que contribuye al contenido proteico de los DDGS (Belyea et al., 2004).

Como el contenido en proteína de los solubles es menor que en los WDG, entonces la PB de los DDGS disminuye si la cantidad de solubles aumenta (Noll et al., 2007; Cao et al., 2009). Normalmente el ratio entre el DDG y los solubles es de 67:33; sin embargo variaciones en esta proporción, así como en la propia variabilidad de la PB de los solubles afectará el contenido en PB de los DDGS (Belyea et al., 1998; Martínez-Amezcueta et al., 2007).

Los valores de PB de los DDGS de trigo encontrados en Wheat DDGS Feed Guide (2013) es del 39,3% con un rango comprendido entre 32,1 y 45,8% sobre MS. En las tablas FEDNA (2010) el valor proporcionado es de 33,6%, mientras que el valor hallado en INRA (2002) es del 33,8%. Chapoutot et al. (2000) indican valores de PB, sobre MS, comprendidos entre 31,9 y 36%, según la planta de producción de etanol. Los valores medios obtenidos durante los años 2010 y 2011 de los autocontroles de GMP.Galis fueron 32,40 y 34,20%, respectivamente.

En el caso de los DDGS de maíz, el contenido de PB, según Chase et al.(1991), está comprendido entre el 22 y 33% de la MS. Schingoethe et al. (2004) dan un valor medio, sobre MS, del 30,1%. Para los DDGS de maíz. Chrenkova et al. (2012), sobre un estudio en varias plantas de producción de etanol en la República Checa, indican valores medios del 29,2 y 34,50% de PB sobre MS para los DDGS de maíz y trigo, respectivamente. En las tablas FEDNA (2010), el valor proporcionado es del 26%. De acuerdo con INRA (2002), el valor de PB es del 24,6% y en las tablas del NRC (2001)

se indica un valor del 37,8% sobre MS. Los valores medios obtenidos durante los años 2012, 2013 y 2014 de los autocontroles de GMP.Galis fueron 27,50, 28,40 y 28,0%, respectivamente.

Cuando se comparan DDGS de trigo con DDGS de maíz, el mayor valor de PB de los de trigo se debe a que el grano de trigo contiene mayor PB que el grano de maíz. Varios autores indican que el contenido de PB de los DDGS aumenta a medida que aumenta la proporción de trigo en la mezcla (Boila y Ingalls 1994a; University of Saskatchewan 2009).

Una buena razón para incluir DDGS en las dietas de rumiantes es que tiene una significativa alta digestibilidad intestinal de la PNDR (Ingalls 1995; Stern et al., 1995; O'Mara et al., 1997; Kleinschmit et al., 2007; Cao et al., 2009). Debido a la degradación de una parte importante de la proteína fácilmente degradable durante el proceso de fermentación y debido a la reducción de la solubilidad de la proteína como consecuencia del calor aplicado durante el licuado y secado, la proteína resultante de los DDGS tiene una alta proporción de PNDR (Firkins et al., 1985; Arieli et al., 1989). Un número sustancial de estudios (Ingalls 1995; Stern et al., 1995; O'Mara et al., 1997; Kleinschmit et al., 2007; Cao et al., 2009) indican una amplia variación en el valor de PNDR de los DDGS de maíz, entre el 40,0 y 76% de la PB. Menor información existe para los DDGS de trigo, (NRC, 2001; Gibb et al., 2008), en donde los valores de PNDR están comprendidos entre el 51,3 y 59,5% de la PB. Esta variabilidad entre ambos tipos y entre ellos mismo se explica por diferencias en el tipo de grano y variedad cultivada, así como las diferencias existentes en las condiciones del procesado para la obtención del etanol. El contenido de PNDR en el maíz es mayor que en el de trigo debido a la resistencia de la zeína, la mayor fuente de proteína del maíz, a la degradación ruminal (Little et al., 1968). La degradabilidad y solubilidad de la PB en el rumen decrece a medida que la temperatura y el tiempo de secado aumentan (Arieli et al., 1989; McKinnon et al., 1995). El calor también desnaturaliza las levaduras, produciendo una menor degradabilidad ruminal (Bruning y Yokohama, 1988). La mayor parte del contenido proteico de los solubles es levadura sobrecalentada (Belyea et al., 2004; Klopfenstein et al., 2008), de ella, solo el 20% es degradable en el rumen (Herold, 1999). Además, los solubles aportan azúcares simples que incrementan la susceptibilidad de las reacciones de Maillard durante el secado (Martinez-Amezcu et al., 2007). El efecto del calor y la presencia de solubles sobre el PNDR se puede verificar por estudios en donde se observó que los valores de PNDR son mayores en los DDGS que en los WDG (Ojowi et al., 1997; Mustafa et al., 2000a; Gibb et al., 2008).

Los valores de degradabilidad ruminal de los DDGS de maíz de calidad extra y de calidad media así como los DDGS de trigo es del 55, 50 y 66% y la digestibilidad real de la PNDR es de 80, 75 y 85%, respectivamente (FEDNA, 2010). De acuerdo con las

tablas INRA (2002), los valores de degradabilidad ruminal y de digestibilidad de la PNDR para los DDGS de maíz son del 56 y 90%, respectivamente y para los DDGS de trigo son del 68 y 85%, respectivamente. El valor encontrado en el NRC (2001) para los DDGS de maíz es del 50,8 y 80%, respectivamente.

El conocimiento de las diferencias en los niveles y disponibilidad de los AA entre los distintos tipos de DDGS es necesario para afinar bien en la formulación de dietas. El contenido en lisina está comprendido entre el 1,9 y 3,3% de la PB en los DDGS de maíz y de 1,6 a 2,8% de la PB en los DDGS de trigo. El perfil de AA de los DDGS es similar al del grano de cereal de donde procede, las diferencias en el tipo de grano y en la variedad se refleja en la composición de AA de los DDGS (Dong et al., 1987b). Sobre MS, el contenido de lisina y metionina del trigo es mayor que en el maíz y así será en los DDGS de trigo frente a los DDGS de maíz. Belyea et al. (1998) encontró diferencias en el contenido y digestibilidad de los AA esenciales en los CDS, lo que sugiere que el perfil de AA y su disponibilidad pueden variar dependiendo de la cantidad de solubles añadidos. La lisina es el aminoácido mas susceptible a las reacciones de Maillard debido a la presencia de su grupo amino libre con los azúcares (Warnick y Anderson 1968), esta susceptibilidad se incrementa por el contenido en azúcares de los solubles, por lo tanto la digestibilidad de la lisina de los DDGS es inferior a la de su grano de procedencia (Martínez- Amezcua et al., 2007).

La digestibilidad intestinal de los AA de los DDGS excede del 93% y es ligeramente inferior a la de la TS, excepto para la lisina que es del 84,6% para los DDGS comparado con 97,3% para TS (Yildiz y Todorov, 2014). La lisina es el primer aminoácido limitante en los DDGS de maíz y de trigo, pero son una buena fuente de metionina. Schingoethe et al. (2009) y Mjoun et al. (2010c) indican alta concentración de AA y especialmente de lisina (3,15% de la PB) en los DDGS actuales comparados con los DDGS (2,24%) de las tablas del NRC (2001) y también muestran mayor digestibilidad intestinal de AA (Mjoun et al., 2010c). Ello indica una mejora considerable de los procesos de la industria del etanol que han conseguido minimizar el daño térmico en la obtención de los DDG.

Los valores de lisina como porcentaje de la PB de los DDGS de maíz de calidad extra y calidad media así como los DDGS de trigo es de 2,98, 2,80 y 2,40% y el de metionina es del 1,94, 1,80 y 1,60%, respectivamente (FEDNA, 2010)

Durante el proceso de producción de alcohol, el grano de cereal se somete a tratamiento térmico con el fin de producir la gelatinización del almidón antes de la degradación enzimática y la fermentación con la levadura. Posteriormente, se emplea calor para secar los granos de destilería húmedos para producir los DDG o DDGS. El calentamiento de los alimentos puede reducir la degradación ruminal de la proteína e

incrementar la eficiencia de utilización por los rumiantes. Sin embargo, un exceso de temperatura puede reducir la disponibilidad de la proteína para los animales y reducir la eficiencia de utilización de la misma. El calor facilita las reacciones de Maillard, entre el azúcar residual y los AA, sobre todo la lisina, produciendo proteína menos digestible (Firkins et al., 1985; Van Soest 1994). Esta proteína indigestible se encuentra en la lignina y en la fibra ácido detergente (FAD). Por ello, un indicador de la intensidad del calor empleado durante las condiciones de secado puede ser el contenido de N insoluble en la fibra ácido detergente (FADIN) (Goering et al., 1972; Kleinschmit et al., 2007).

El análisis de FADIN se ha usado como un indicador de la medida de la reducción de la disponibilidad de la proteína de un alimento que ha sido sometido a alta temperatura. Chase et al. (1991) revisó el uso de FADIN como método para estimar el daño térmico en la proteína de los granos de destilería y otros subproductos. Concluye que FADIN, aunque no es perfecto, puede ser un buen indicador para medir el daño térmico en ingredientes para alimentación animal. Klopffestein (1991) indica que parte del N asociado a la FAD puede ser absorbido a través del tracto digestivo pero no puede ser eficientemente empleado por los animales para su crecimiento.

Mientras que la relación entre FADIN y la digestibilidad del N es alta en forrajes (Yu y Thomas, 1976), ello no es muy consistente en los ingredientes que no son forrajes, tales como los granos de destilería. Hay algunos estudios que muestran una fuerte relación negativa entre FADIN y la digestibilidad del N (Van Soest, 1989; Van Soest y Mason, 1991; Waters et al., 1992; Nakamura et al., 1994a), mientras que otros autores indican que FADIN es un pobre indicador de la no disponibilidad de la proteína (Britton et al., 1986; Weiss et al., 1989; Nakamura et al., 1994a). Una posible explicación de esta aparente contradicción puede ser que la relación entre FADIN y la digestibilidad de la proteína no es constante a través de los valores de FADIN.

Nakamura et al. (1994a) encontraron un rango de FADIN de 7,8 a 27,9% del total del N de 7 muestras de granos de destilería. Parece evidente que existe una relación entre FADIN y proteína no degradable en el rumen ($r^2 = 0,55$). Sin embargo, en otro estudio la correlación con la digestibilidad real del N es muy baja ($r^2 = 0,24$). En el 78% de FADIN de 7 muestras de granos de destilería fueron digeridos por ovejas.

Harty et al. (1998) evaluaron, *in vitro*, 98 muestras de DDGS de maíz para comprobar la relación entre FADIN y la disponibilidad intestinal de la proteína. El rango de FADIN estuvo comprendido entre el 0,78 y el 35% del N. Con el conjunto de estos datos, la correlación entre FADIN y la disponibilidad intestinal de la proteína (DIP) o la disponibilidad intestinal de la proteína no degradable en el rumen (DIPNDR) fue baja ($r = -0,24$ y $-0,42$, respectivamente). La mejor correlación entre FADIN y DIPNRD ($r = -0,87$) fue la obtenida cuando los valores de FADIN eran mayores del

13% del N. Aún dentro de este rango, FADIN estaba muy poco correlacionado con DIP ($r = -0,17$).

Nuez (2010) y Walter et al. (2010) indican que el motivo por el que el contenido de PNDR de los DDGS de trigo sea el doble que la del cereal de donde proceden es debido al efecto del calor durante el proceso de producción del etanol. Ello está conectado con un incremento de FADIN y FNDN sobre el porcentaje de PB del grano de cereal de donde proceden (Kononoff y Chistensen, 2007).

Es desfavorable la reacción de ciertos AA con carbohidratos, especialmente la lisina, que los hace no disponibles para la absorción y el metabolismo (Nuez, 2010; Walter, 2010). El grado de pérdida de lisina depende de la intensidad del calor aplicado durante el proceso de secado.

2.2.2.2. Energía

Los DDGS son una excelente fuente de energía para los rumiantes. Normalmente, los valores energéticos de los DDGS son más altos que los del cereal de donde proceden. En dietas de acabado de terneros, se mejoró la ganancia media diaria (GMD), así como el índice de conversión (IC) cuando se reemplazó maíz por DDGS de maíz (Ham et al., 1994). Este mayor valor energético de los DDGS frente al su cereal de origen se explica porque aumenta tres veces el valor de grasa y por la alta digestibilidad de la fibra (Klopfenstein et al., 2008; Schingoethe et al., 2009). La cebada, cuando se reemplazó por DDGS de trigo hasta un máximo del 32% de la MS no tuvo efecto sobre los rendimientos en la fase de acabado de novillos (Believeau, 2008). Cuando se usaron niveles del 47% de la MS el IC aumentó debido a una reducción de la digestibilidad de la ración total (Gibb et al., 2008).

Los valores energéticos, expresados por kg de MF, de los DDGS de trigo encontrados en las tablas FEDNA (2010) fueron de 0,98 UFL y 0,97 UFC, mientras que las tablas INRA (2002) indica un valor de 0,96 UFL y 0,90 UFL y en Wheat Feed Guide, 2013 se indica un valor de ENM de 2.080 kcal/kg de MS, energía neta de lactación (ENL) de 1.940 kcal/kg de MS y ENG de 1.410 kcal/kg de MS.

Los valores energéticos, expresados por kg de MF, de los DDGS de maíz encontrados en las tablas FEDNA (2010) fueron de 1,06 UFL y 1,07 UFC, mientras que las tablas INRA (2002) indica un valor de 0,97 UFL y 0,94 UFL para DDGS de maíz con una GB de 3,9% y en Wheat Feed Guide, 2013 se indica un valor de ENM de 2.070 kcal/kg de MS, ENL de 2.260 kcal/kg de MS y ENG de 1.410 kcal/kg de MS. En las tablas del NRC (2001) se indican valores de ENM de 2.070 kcal/kg de MS, ENL de 1.970 kcal/kg de MS y ENG de 1.410 kcal/kg de MS.

2.2.2.3. Grasa

Los contenido de GB de los DDGS varía entre el 3,5 y el 12,8% de la MS para los DDGS de maíz y desde el 3,1 al 9,9% de la MS para los DDGS de trigo. La grasa contenida en los solubles puede llegar a ser del 34% de la MS, así pues, si se incrementa la cantidad de solubles que se añaden a los DDGS se aumentará el contenido de GB de los mismos (Noll et al., 2007; Cao et al., 2009). El contenido de GB de los DDG se incrementa del 8,8 al 11,8% de la MS cuando la cantidad de solubles se incrementa del 10 al 25% (Ganesan et al., 2006). Así pues, existe una variabilidad del contenido en GB de los DDGS no solo por la cantidad de solubles que se añadan sino por diferencias entre distintas plantas de producción (Belyea et al., 1998; Knott et al., 2004). Diferencias en el contenido de GB puede explicarse por el método de análisis que se emplee. Cao et al. (2009) indica que el método (AOAC 954.02), que utiliza dietil éter como solvente, da lugar a valores de GB mas altos que si se usa éter de petróleo, así pues el contenido de energía del los DDGS vendrá determinado por el método analítico empleado. Schingoethe et al. (2004) dan un valor medio, sobre MS, del extracto etéreo (EE) del 10,7% para los DDGS de maíz. Chrenkova et al. (2012) indican que el valor de EE para los DDGS de maíz y trigo de diferentes plantas de etanol de la Republica Checa fue del 10,35 y 4,49%, respectivamente. En un estudio de Chapoutot et al. (2000) sobre DDGS de trigo de diferentes plantas de producción de etanol francesas, encuentran valores del 5,8, 5,2 y 4,6% de EE sobre MS, mientras que los valores encontrados en Wheat DDGS Feed Guide, 2013 son del 5,4% con un rango comprendido entre 3,9 y 7% sobre MS. Los valores encontrados en FEDNA (2010) son del 4,5% para los DDGS de trigo y del 10,1% para los de maíz. Los correspondientes al INRA (2002) son de 6,50% para los de trigo y de 3,90% para los de maíz. En las tablas del NRC (2001) los valores de EE de los DDGS de maíz son del 10%. Los valores medios obtenidos de los DDGS de trigo durante los años 2010 y 2011 de los autocontroles de GMP.Galis fueron 5,20 y 5,10%, respectivamente. Los valores medios obtenidos de los DDGS de maíz durante los años 2012, 2013 y 2014 de los autocontroles de GMP.Galis fueron 12,0, 13,20 y 11,60%, respectivamente.

A pesar de la alta variabilidad en el contenido de GB en los solubles, varios estudios (Lodge et al., 1997; Kim et al., 2008) indican que existe una concentración similar entre los DDGS y los WDG. Esta discrepancia se explicaría por la diferencia en el nivel de GB de los solubles como resultado de los diferentes procesos de las plantas de producción de etanol. Por ejemplo, el germen es el lugar de mayor concentración de GB de los granos de cereales, si el germen se extrae durante el proceso, los DDGS resultantes tendrían un menor contenido en grasa comparados con los producidos por métodos convencionales (Martínez-Amezcu et al., 2007; Tedeschi et al., 2009). Cuando se comparan los DDGS de maíz con los DDGS de trigo, el contenido de GB es mayor en el de maíz debido al mayor contenido de GB en el propio maíz que en el trigo

(Dong et al., 1987b). En los DDGS, la grasa está formada por ácidos grasos insaturados (Schingoethe et al., 2009). Aunque el grado de insaturación es ligeramente mayor en los CDS que en los WDG, la concentración de grasa es dos veces mayor en los CDS que en los WDG (Cao et al., 2009). Entonces, incrementando la cantidad de solubles aumentaría el contenido de energía de los DDGS y mejoraría su perfil de ácidos grasos (AG).

El perfil de ácidos de los DDGS de maíz es similar al del propio grano de maíz, sin embargo, pequeñas cantidades de ácido docosahecanoico (DHA) está solo presente en los DDGS (Martínez-Amezcuca et al., 2007). Este ácido graso pudiera proceder de la levadura empleada en el proceso, la cuál es capaz de modificar la composición de AG en función de las condiciones de fermentación (Torija et al., 2003). Comparado con el aceite de maíz, la cantidad y digestibilidad de la grasa insaturada en el duodeno fue mayor en novillos alimentados con DDGS de maíz, ello sugiere que parte de la grasa de los DDGS de maíz puede estar protegida de la hidrogenación ruminal (Vander Pol et al., 2007). Depenbusch et al. (2009) indican que el ratio de ácidos grasos poli-insaturados (PUFA) y ácidos grasos saturados (SFA) en la canal de terneros se incrementa cuando aumenta la cantidad de DDGS de maíz.

2.2.2.4. Fibra

Los DDGS contienen una alta cantidad de FND, que varía en un rango comprendido entre el 25,0 y el 51,3% de la MS para los DDGS de maíz y del 28,9 al 57,0% de la MS para los DDGS de trigo. Esta amplia variabilidad es debida al tipo de grano y su variedad cultivada, así como el método de procesamiento en la planta de producción de etanol y el método analítico para determinar la FND. Don y Rasco (1987a) indican que el contenido de FND depende de la variedad de trigo que se emplee. Algunas plantas de producción de etanol eliminan el pericarpio antes de la molienda con el fin de incrementar el valor energético de los DDGS destinados a animales no rumiantes, produciendo un DDGS con un menor contenido de FND (Martínez-Amezcuca et al., 2007). Los solubles tienen menos FND comparado con los granos de destilería, por ello la concentración de fibra se disminuye si aumenta la inclusión de solubles (Cao et al., 2009).

Rasco et al. (1989) indican que, debido al proceso de secado de algunas plantas, parte de la proteína se hace insoluble en la solución neutro detergente, ello incrementa la cantidad de FND del producto final debido al aumento de FNDN. En los granos de destilería, el contenido en FNDN puede representar el 40% de la FND (Krishnamoorthy et al., 1982). El procedimiento AOAC para el análisis de la FND, referido como tratamiento con amilasa (Mertens 2002), utiliza sulfito sódico y amilasa termoestable para eliminar la proteína y el almidón en la FND, respectivamente. Sin embargo, otras

variantes de este método, como la ausencia de sulfito sódico y posterior corrección de FNDN, se ha utilizado en ensayos con granos de destilería (Boila y Ingalls 1994a; Mustafa et al., 2000a).

La fibra es poco lignificada y es de buena digestibilidad. La degradabilidad *in situ* de la FND en los DDG es mas rápida y alta comparada con la FND de los granos (Kononoff y Chistensen, 2007). El contenido de lignina de los DDGS es bajo, lo que explica la alta digestibilidad de la FND (entre 62 y 71%) (Birkelo et al., 2004; Vander Pol et al., 2009). La primera causa de variación de la digestibilidad de la FND de los DDGS puede ser la eliminación de parte de la grasa, ya que la grasa actúa como inhibidor del crecimiento microbiano lo que reduce la digestibilidad de la fibra (Nagaraja et al., 1997). Por otra parte, la determinación de las características de degradación de la FND se ve afectada por la forma física del ingrediente, así como por el método de fermentación que se emplee (*in situ* vs. *in vitro*).

Schingoethe et al. (2004) proporcionan un valor medio, sobre MS, para los DDGS de maíz de FND y FAD del 41,5 y 16,1%, respectivamente. Chrenkova et al. (2012) indican que el valor FND, FAD y LAD para los DDGS de maíz y trigo fueron de 37,76 y 37,20%; 15,99 y 21,71%; 4,98 y 4,79%, respectivamente. Los valores encontrados en FEDNA (2010) fueron de 26,4 y 29,0%; 10,3 y 11% y 2,9 y 3,5%, respectivamente. Los valores para los DDGS de trigo, sobre MS, de FND, FAD y LAD encontrados en la tabla de Wheat DDGS Feed Guide (2013) son para la FND un 38,8% con un rango comprendido entre 21,8 a 54,1%, para la FAD 15,1% con un rango comprendido entre 7,4 y 22,9% y para la LAD 4,8% con un rango comprendido entre 4,3 y 5,3%. En el caso del NRC (2001) para los DDGS de maíz, los valores de FND, FAD y LAD son de 38,8, 19,7 y 4,3%, respectivamente.

Los valores de FB, FAD, FND y LAD para los DDGS de maíz encontrados en FEDNA (2010) son de 7,15, 10,30, 26,40 y 2,9%, respectivamente y los correspondientes a los de INRA (2002) son de 7,30, 9,0, 31,40 y 1,6%, respectivamente. Los valores de FB, FAD, FND y LAD para los DDGS de trigo encontrados en FEDNA (2010) son de 7,60, 11,0, 29,0 y 3,50%, respectivamente y los correspondientes a los de INRA (2002) son de 9,20, 14,60, 37,90 y 4,0%, respectivamente. Los valores medios de FB obtenidos de los DDGS de trigo durante los años 2010 y 2011 de los autocontroles de GMP.Galis fueron 5,20 y 5,10%, respectivamente. Los valores medios obtenidos de FB de los DDGS de maíz durante los años 2012, 2013 y 2014 de los autocontroles de GMP.Galis fueron 12,0, 13,20 y 11,60%, respectivamente.

En dietas de terneros, los DDGS pueden reemplazar a la cebada o al maíz aportando energía en forma de fibra fácilmente digestible. Esta fibra se digiere de forma lenta y con menor producción de ácido láctico en comparación con el almidón (US

Grains Council 2007b). Aunque se pudiera suponer que la incidencia de acidosis en el rumen es menor cuando utiliza DDGS en dietas de terneros (Ham et al., 1994; Klopfenstein et al., 2001), ello no parece estar demostrado todavía. El pequeño tamaño de partícula de los DDGS hace que tenga un bajo contenido de FND efectiva (peFND) (3,4 a 19,8%) (Kleinschmit et al., 2007). En vacas de leche, el bajo valor de peFND debe tenerse en cuenta ya que esta fibra no sirve para prevenir la depresión de la grasa de la leche (Cyriac et al., 2005). Por esta razón, cuando se usan DDGS en raciones de vacas lecheras se recomienda sustituir a los concentrados en vez de los forrajes (Schingoethe et al., 2009). En un estudio de Penner et al. (2009) se concluye que los DDGS pueden reemplazar el 10% del concentrado de las raciones sin que afecte a la producción de leche, así como la composición de la misma y la actividad del rumiado de las vacas lecheras.

2.2.2.5. Almidón

Aunque la mayor parte del almidón del grano de origen se convierte en etanol durante el proceso de fermentación, existe un pequeño residuo de almidón en los DDGS.

La cantidad de almidón residual depende del tipo de fuente de almidón así como del grano de cereal de donde procede y las condiciones del proceso (Sharma et al., 2009). En los DDGS de maíz, la cantidad residual de almidón varía, normalmente entre el 2,5 y 9,5% de la MS (Cozannet et al., 2011).

Las diferencias en la resistencia del almidón a la fermentación se debe al tipo de cereal empleado y las diferencias en la estructura granular del almidón. El contenido en amilosa del almidón tiene una correlación negativa con la degradabilidad del mismo (Berry 1986; Stevnebø et al., 2006), mientras que pequeños gránulos de almidón tiene mayor degradación que gránulos mayores debido a su mayor superficie de contacto (Stevnebø et al., 2006).

La cocción del almidón provoca que aumente la cantidad de almidón resistente y por lo tanto mayor cantidad de almidón residual (Berry 1986). La temperatura y el pH durante el proceso de licuado puede afectar a la cantidad de almidón resistente (Sharma et al., 2009). Después de la gelatinización, el almidón se enfría y se produce una retrogradación, tras ello se produce una insolubilización con precipitado del mismo, sobre todo de amilosa (Jameson et al., 2001). Este proceso de cristalización se facilita por la baja temperatura (50 °C), pH entre 5 y 7 y una alta concentración de almidón de cadenas largas (Jameson et al., 2001; Sharma et al., 2009). Otros factores que influyen en la producción de almidón resistente es la formación de complejos de la amilasa con los lípidos, la proporción de agua y almidón de la masa, la temperatura de cocción y el

número de ciclos cocción/enfriado (Jameson et al., 2001). Otra posible explicación de la presencia de almidón residual en los DDGS es la ineficiencia de las condiciones del proceso ya que la conversión de todo el almidón a etanol requiere una combinación de diferentes factores (temperatura, pH, tiempo, enzimas, y levaduras). Se ha especulado que las grandes moléculas proteicas y la presencia de proteasas desconocidas pudieran inhibir el proceso de fermentación (Bahdra et al., 2007). Las mejoras llevadas a cabo, durante los últimos años, por las nuevas generación de plantas de producción de etanol ha tenido como consecuencia una reducción del almidón residual de los DDGS en comparación con las viejas plantas, menos eficientes (Schingoethe et al., 2009).

2.2.2.6. Minerales

Si tenemos en cuenta las necesidades de los bovinos (NRC 2001), los DDGS son bajos en Ca pero altos en P y en azufre (S). Estos minerales no sólo afectan al rendimiento de los animales sino que también afectan a la salud de los animales y al medio ambiente. La cantidad de P de los DDGS es alto y con una disponibilidad alta (Mjoun et al., 2008). Se encuentran valores de Ca comprendidos entre <0,1 y 0,5% de la MS para los DDGS de maíz y desde 0,2 a 0,3% para los DDGS de trigo. Para el P, los niveles están comprendidos entre 0,4 y 1% de la MS para los DDGS de maíz y desde 1,0 a 1,1% de la MS para los DDGS de trigo. Esta variación entre los tipos de DDGS se explica por el tipo de grano de origen y sus variedades así como de la cantidad de solubles que se les añaden. Los valores de Ca y P son mayores en los DDGS de trigo frente a los de maíz. Cao et al., (2009) indican que la cantidad de Ca y el P es mayor en los CDS que en los WDG de maíz, resultando un aumento de nivel en los DDGS si aumenta la inclusión de solubles.

Las necesidades nutricionales de Ca y P para novillos son aproximadamente 0,6% y 0,3% de la MS respectivamente, mientras que la cantidad de un pienso que contenga un 60% de DDGS y no suplementado con Ca aporta aproximadamente 0,8% de Ca y 0,7% de P por MS (NRC 1996; Gibb et al., 2008). Así pues, las raciones de acabado de novillos que contengan una inclusión alta de DDGS pueden resultar con un bajo ratio de Ca:P si estos minerales no son suplementados de forma conveniente. Ello puede provocar desórdenes metabólicos y reducción de rendimientos zootécnicos (NRC, 2001). Una dieta con DDGS al 60% y suplementada con carbonato cálcico en novillos, sin embargo nos tuvo un efecto positivo en la GMD ni en el IC (Gibb et al., 2008). El alto contenido en P asociado con el uso de DDGS provoca un aumento de excreción en heces y orina (Luebke et al., 2008; Spiehs y Varel 2009).

Los DDGS de trigo contiene mas de 1% de P comparado con el 0,25-0,3% del grano de trigo, mientras que el contenido de Ca es de 0,15% (Mc Kinnon y Walker, 2008). Los valores encontrados en la tabla de Wheat DDGS Feed Guide (2013) son de 0,95% y 0,17%

para el P y Ca, respectivamente para los DDGS de trigo y de 0,05 y 0,81% para los DDGS de maíz. FEDNA (2010) indica valores de Ca y P de 0,07 y 0,78%, respectivamente para los DDGS de maíz y de 0,10 y 0,85%, respectivamente para los DDGS de trigo. INRA (2002) indica para el DGS de trigo valores de Ca y P de 0,03 y 0,67%, respectivamente y para los DDGS de maíz los valores son de 0,02 y 0,84%, respectivamente. Los valores de las tablas del NRC (2001) indican valores de Ca y P de 0,22 y 0,83%, respectivamente. Los valores encontrados en los autocontroles de GMP.Galis de los DDGS de maíz de los años 2012, 2013 y 2014 para el Ca y P fueron de de 0,03 y 0,83; 0,03 y 0,79%; 0,03 y 0,79%, respectivamente.

El contenido extra de S en los DDGS se corresponde con el S de la levadura empleada en la fermentación durante el proceso de producción de etanol. Además se añade ácido sulfúrico en el proceso para ajustar el pH y favorecer un medio óptimo a las carbohidrasas y las levaduras responsables de la fermentación del almidón. Dependiendo de la calidad del agua y la necesidad de ajuste del pH, el contenido de S de los DDGS, tanto en los de trigo como en los de maíz, puede variar considerablemente entre 0,3% y el 1% (Spiehs, Whitney y Shurson, 2002; Batal y Dale, 2003). Los solubles tienen una mayor concentración de S que los WDG, por ello el contenido en los DDGS se incrementa al aumentar la cantidad de solubles añadidos (Cao et al., 2009; Schingoethe et al., 2009; Stein y Shurson 2009). El máximo tolerable de S en la ración de novillos y vacas lecheras es de 0,3 a 0,4% de la MS, respectivamente (NRC 2001). Si se produce esta circunstancia con un alto porcentaje de ingestión de DDGS se puede producir casos de encefalomalacia (Schingoethe et al., 2009), que se caracteriza por producirse trastornos a nivel de sistema nervioso central.

FEDNA (2010) indica valores de S de 0,50 y 0,45% para los DDGS de maíz y de trigo, respectivamente. El valor proporcionado por Wheat DDGS Feed Guide, 2013 es de 0,62%, mientras que el NRC (2001) indica valores de 0,44% para los DDGS de maíz. El INRA (2002) indica valores de 0,32% para los DDGS de maíz.

En la tabla 2.2., se puede ver un resumen de los valores nutricionales de las materias primas empleadas en el ensayo según las distintas fuentes, INRA, FEDNA, NRC y CIGI⁴.

⁴ CIGI: Canadian International Grain Institute.

Tabla 2.2. Composición nutricional de TS, TC, DDGS de maíz y DDGS de trigo.
FEDNA, 2010; INRA, 2002; NRC, 2001; CIGI, 2013.

	TS			TC			DDGS de maíz			DDGS de trigo		
	FEDNA, 2010	INRA, 2002	NRC, 2001	FEDNA, 2010	INRA, 2002	NRC, 2001	FEDNA, 2010	INRA, 2002	NRC, 2001	FEDNA, 2010	INRA, 2002	CIGI, 2013
MS, %	88,0	87,6	89,5	10,8	11,3	90,3	9,9	11,8	90,2	8,8	10	92,4
PB, %	47,0	47,2	53,8	33,8	33,7	37,8	26,0	24,6	29,7	33,6	33,8	39,3
GB, %	1,9	1,5	1,1	2,2	2,3	5,4	10,1	3,9	10	4,5	6,5	5,4
FB, %	4,1	3,9	-	12,4	12,4	-	7,15	7,3	-	7,6	9,2	-
FND, %	9,1	8,9	9,8	28,9	28,3	29,8	26,4	31,4	38,8	29,0	37,9	38,8
FAD, %	5,4	4,8	6,2	19,8	19,6	20,5	10,3	9,0	19,7	11,0	14,6	15,1
LAD, %	0,3	0,4	0,5	6,5	9,5	9,5	2,9	1,6	4,3	3,5	4,0	4,8
FADIN, %	-	-	0,7	-	-	6,3	-	-	8,6	-	-	-
FNDN, %	-	-	0,4	-	-	2,4	-	-	5,0	-	-	13,3
Almidón, %	0,5	0	-	0	0	-	8,4	11,5	-	3,8	3,8	3,2
Azúcares	7,0	9,2	-	8	7,7	-	2,5	0,5	-	2,4	0,8	5,1
Cenizas, %	6,2	6,3	6,4	6,8	7,0	7,4	4,8	6,0	5,2	4,4	3,6	5,3
Ca, %	0,29	,34	0,35	0,73	0,83	0,75	0,07	0,21	0,22	0,10	0,33	0,17
P, %	0,64	,62	0,70	1,1	1,14	1,10	0,78	0,84	,83	0,85	0,67	0,95
S, %	0,47	,42	0,39	0,6	,59	0,73	0,5	0,32	0,44	0,40	-	0,62
DT, %	65	63	-	70	69	-	55	56	-	66	68	-
A (%)	14	13	22,5	20	27	23,2	22	25	28,5	21	36	-
B (%)	85	85	76,8	72	67	70,4	70	60	63,3	74	58	-
c (%/h)	9	8,5	9,4	14	10,0	10,4	5,5	6,5	3,6	9,5	7,5	-
dr (%)	95	96	93	80	79	75	80	90	80	85	85	-
RUP%	-	-	42,6	-	-	35,7	-	-	50,8	-	-	54,4
UFL	1,04	106	-	0,85	0,85	-	106	0,97	-	0,98	0,96	-
UFC	1,04	106	-	0,80	0,80	-	107	0,94	-	0,97	0,90	-
ENL, Mcal/kg	-	-	2,21	-	-	1,76	-	-	1,97	-	-	2,036
ENM, Mcal/kg	-	-	2,37	-	-	1,88	-	-	2,07	-	-	2,077
ENG, Mcal/kg	-	-	1,66	-	-	1,25	-	-	1,41	-	-	1,41
PDIN, g/kg	339	346	-	220	219	-	179	181	-	228	228	-
PDIE, g/kg	225	238	-	138	138	-	147	154	-	156	143	-
PDIA, g/kg	173	186	-	90	92	-	104	108	-	108	102	-
LIS DI*, % PDIE	6,9	7	6,29	6,8	6,83	5,62	5,3	5,51	2,24	5,1	-	-
MET DI*, % PDIE	1,5	1,5	1,44	1,9	2	1,87	1,9	1,97	1,82	1,7	-	-

FEDNA, 2010 e INRA, 2002: Valores sobre MF.

NRC, 2001 y CIGI, 2013: Valores sobre SS.

* Los valores de Lisina y metionina del NRC, 2001 están en % de la PB

2.3. UTILIZACIÓN DE TORTA DE COLZA EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE

2.3.1. La torta de colza en raciones de vacas lecheras

La TC está considerada como una fuente de proteína de alta calidad para todas las especies, sobre todo para los rumiantes y, especialmente en vacuno lechero. Ello es debido, en parte, al bajo coste de la TC frente a la TS. El sistema de producción de TC, que incluye presión física y alta temperatura, hace que se incremente la fracción no degradable de la PB. Los valores de PB de la TC y TS publicados en las diferentes tablas y publicaciones de diversos investigadores difieren mucho. La concentración de PNDR tiene un valor de 350 g/kg PB para la TS y 250 g/kg para la TC (Universität Hohenheim - Dokumentationsstelle, 1997). Los valores encontrados en las tablas ARFC (1993) son de 280 g/kg para la TC y 370 g/kg para la TS para el caso de una tasa de paso ruminal de 5%/h. De acuerdo con INRA (2002), los valores son de 69% de la PB para una tasa de paso de 6%/h., es decir 232 g/kg.

Sobre un total de quince estudios publicados entre los años 1893 y 1997 (Rooke et al., 1983; Mir et al., 1984; Voigt et al., 1990; Kendall et al., 1991; Tuori, 1992; Zinn, 1993; Khorasani et al., 1994; Liuet al., 1994; Moss and Givens, 1994; Vanhatalo et al., 1995; Stanford et al., 1995; Stanford et al., 1996; Gralak et al., 1997; Mustafa et al., 1997; Zebrowska et al., 1997) se encontró que en nueve de ellos se obtuvieron valores mayores de PNDR (g/kg PB) para la TS que para la TC, tres estudios indicaron lo contrario y otros tres no vieron diferencias en los valores de PNDR entre la TS y la TC. Los valores de PNDR variaron ampliamente en todos los estudios, así los valores de PNDR de la TS estuvieron comprendidos entre 200 y 500 g/kg y entre 120 y 560 g/kg de PB para la TC.

En otra serie de ensayos (Ha y Kennelly, 1984; Kirkpatrick y Kennelly, 1987; Cheng et al., 1993; Piepenbrink y Schingoethe, 1998; Woods et al., 2003; Südekum et al., 2003; Sadeghi y Shawaran, 2006; Homolka et al., 2007) se observó que el rango de valores de degradabilidad de la MO estaba comprendido entre el 57,1 y el 78,1% y para el de la degradabilidad de la proteína el rango estuvo comprendido entre 53,1 y 79,36%.

Así pues, existe una amplia variabilidad de degradabilidad de la proteína de la TC que hay que tener en cuenta cuando se raciona para animales con altas necesidades como es el caso del vacuno lechero.

La parte de proteína degradable en el rumen (PDR) estimula la producción de proteína microbiana en el rumen. La proteína microbiana es una proteína de alta calidad que representan tanto como el 60% de los requerimientos de la vaca lechera de proteína metabolizable para síntesis de la leche. El nivel alto de proteína degradable en el rumen

que contienen la TC proporciona eficientemente amoníaco, AA y péptidos, que son factores esenciales de crecimiento para las bacterias del rumen que pueden incorporarse fácilmente a la proteína microbiana. Un estudio comparativo con TC, torta de semilla de algodón y TS como suplementos de proteínas para vacas lecheras de alta producción se demostró que existe, numéricamente, un mayor flujo post rumen de proteína microbiana en vacas alimentadas con TC en comparación con las que fueron alimentadas con torta de semilla de algodón y TS (Brito et al., 2007). La fracción de PNDR en la TC contiene un perfil de AA esenciales muy próxima a la de la proteína de la leche. La mejor producción de leche que se observa con la TC se atribuye al perfil de AA en la fracción no degradable de la TC, que es complementaria a la proteína microbiana (Brito et al., 2007). La cantidad post ruminal de AA totales, AA esenciales, AA ramificados (valina, leucina e isoleucina) y AA limitantes (metionina, lisina, histidina y treonina) cuando se usa la TC como suplemento proteico es numéricamente mas alto o, por lo menos, comparable a cuando se suplementa las dietas con TS o torta de semilla de algodón (Brito et al., 2007). En un ensayo de Brito y Broderick, (2007), en vacas que producían ≥ 40 kg/día de leche, se indica que con TC la producción era de +1,1 kg de leche comparado con la TS o la torta de semilla de algodón.

En otros ensayos se ha testado la hipótesis de que la TS puede ser totalmente reemplazada por TC en dietas de vacas lecheras cuando se alimentan con dietas isocalóricas e isoproteicas, ello sin tener en consideración las diferencias en los valores de degradabilidad y el perfil de AA. En un trabajo recopilatorio de dietas para vacas de alta producción en Alemania (Spiekers and Südekum, 2004; Steingass et al., 2010), se resume que la producción de leche y la concentración de sus componentes fue similar para dietas conteniendo TS o TC. La concentración de energía de las dietas completas es un factor a tener en cuenta a la hora de reemplazar TC por TS debido a la menor concentración energética de la TC frente a la TS. Steingass et al. (2010) indicaron que la torta por presión de colza puede reemplazar a la TS. En un ensayo con 60 vacas lecheras observó que se producía un alto consumo de MS y producción lechera pero se reducían los valores de grasa y proteína en la leche cuando los animales consumían torta de colza expeller.

En un metanálisis realizado por Huhtanen et al., (2011) con 292 tratamientos sobre 122 ensayos realizados en vacas lecheras, encontraron que por cada kg de aumento de ingestión de PB procedente de TS se incrementaba la producción de leche, así como la producción de proteína en la leche y la MSI (materia seca ingerida) comparado con la TS.

En otro metanálisis de Martineau et al. (2013) emplearon 88 dietas correspondiente a 27 ensayos publicados desde el año 1975, en donde se sustituyó cualquier dieta proteica por TC con un consumo comprendido entre 1 y 4 kg/día, la producción de leche y la producción de proteína respondieron positivamente a la sustitución de la

fuelle proteica por la TC, aunque con TS la respuesta a dicha mejora fue la mitad que con las otras fuentes proteicas. Concluyen que un suplemento proteico se puede sustituir por TC con efectos positivos en la producción de leche y en la producción de proteína en leche.

2.3.2. La torta de colza en raciones de vacuno de carne

Se ha visto que las terneras en destete tienen buenos rendimientos productivos cuando se usa la TC como suplemento de proteína. Claypool et al. (1985) encontraron que las terneras Holstein de 45 días de vida aumentaban la GMD de 0,6 a 0,9 kg al día cuando se le ofrecía un pienso de iniciación basado en TC durante un periodo de siete semanas antes del destete y ocho semanas después del destete, respectivamente. El rendimiento de las terneras alimentadas con TC fue semejante al de las terneras alimentadas con raciones de iniciación a base de torta de semilla de algodón o TS. En otros estudios realizados en Gran Bretaña, no se observó ninguna influencia adversa sobre la ingestión de alimento en terneras de 160 kg comparado con animales que recibieron suplemento con TS (Hill et al., 1990). Petit y Veira (1994) mostraron que la TC dio como resultado una mayor GMD en novillos, de aproximadamente 225 kg de peso, cuando los niveles de proteína fueron constantes.

McKinnon (1993a) indica que el rendimiento de terneros en fase de crecimiento cuando se usa TC al 23% del total de la ración se obtiene mayor GMD (1,3 vs. 1,2 kg) frente a una dieta control con urea, ello no afectó al consumo de MS, ni al IC ni la calidad de la canal. En dietas de terneros, en periodo de acabado empleando TC por encima del 30% de la ración, no se encontraron efectos adversos en la GMD, MSI ni en el IC.

Zin (1993) indica que en novillos consumiendo un concentrado al 80% del total de la ración con un contenido de TC y TS del 20% de la dieta y en la fase de crecimiento y acabado, la TC tenía un porcentaje de PNDR del 28% y una energía digestible de 4,12 Mcal/kg frente a 19,7% y 4,6 Mcal/kg de la TS. Aunque la digestibilidad de la MS y de la PB fue mayor para la TS (92 y 91%) frente a la TC (82 y 88%), sin embargo, el contenido de AA en el intestino fue similar pero con mayor metionina para el caso de la TC.

Koenig y Beauchemin (2005) examinaron la eficacia de la TC en raciones basadas en maíz. La TC dio como resultados un aumento de peso similar al del control isoproteico (1,48 kg/día vs. 1,40 kg/día, respectivamente). Sin embargo, la adición de TC en la dieta de baja proteína subió el aumento de peso de 1,29 kg/día a 1,48 kg/día, como era de esperarse.

En un trabajo de He et al. (2013) se indicó que la sustitución de TC por 15 o 30% de cebada no afectó a la GMD ni al consumo de MS en terneros en crecimiento y acabado. Sin embargo, a lo largo de todo el periodo, la MSI y el IC fue menor para las dietas que contenían un 30% de TC comparado con aquellas que tenían un 15% de TC o sin TC. La inclusión de TC, a cualquier nivel, no tuvo un impacto adverso sobre la calidad de la canal, comparando con las dietas en base a cebada.

2.4. UTILIZACIÓN DE DDGS DE MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE

2.4.1 DDGS de maíz en raciones de vacas lecheras

De acuerdo con Schingoethe et al. (2009), los DDGS de maíz son una buena fuente de PB (> de 30% sobre SS) la cuál es alta en PNDR (aproximadamente 55% de la PB). En el caso de la degradabilidad de la proteína de los DDGS de maíz hay muchos trabajos que indican amplio rango de variación, así Nakamura et al. (1994) indican valores comprendidos entre 16 y 80%. Stern et al. (1995) encontraron valores de PND de $56 \pm 8\%$. Otros autores (Harty et al., 1998) indican valores medios del 53% con una variabilidad amplia, con rangos entre 40 y 68%, dependiendo de la planta de producción donde se obtengan El valor encontrado por Schingoethe et al. (2004) es del 55% y Kleinschmit et al. (2007) indican valores de 71,7, 63,7, 59,1, 67,5 y 60,3% para una tasa de paso de 0,068/h. Mientras que Kelzer et al. (2008) indican valores del 33,2 y 56,3%.

Los DDGS son una buena fuente de energía (el valor de energía neta para lactación es aproximadamente de 2,25 Mcal/kg de MS). La cantidad de GB (10% sobre MS) y un contenido en fibra digestible (aproximadamente el 39% de la FND) contribuye al alto valor energético de los DDGS. La producción de leche es similar cuando las vacas se alimentan con WDGS aunque algunos autores señalan una cierta ventaja cuando se alimentan con DDGS. Los DDGS se pueden usar reemplazando tanto forrajes como concentrados, aunque frecuentemente se emplean sustituyendo a los concentrados. Raciones de vacas lecheras pueden contener un 20% o más de DDGS sobre MS siempre y cuando las dietas estén correctamente equilibradas. Empleando DDGS por encima del 30% sobre MS se puede conseguir la misma cantidad de leche o mas comparado con vacas que se alimentan con dietas más tradicionales.

Con el fin de conocer los efectos de los DDGS de maíz, tanto secos como húmedos, sobre el consumo de MS, la producción de leche y la composición de la leche, Kalscheur (2005) realizó un metanálisis de los datos obtenido de 23 ensayos experimentales y 96 tratamientos en donde estaban involucrados los DDGS de maíz en

vacas lecheras. Estos estudios se publicaron entre los años 1982 y 2005. Aunque la calidad y la composición en nutrientes han mejorado durante este periodo de tiempo, todos los estudios se incluyeron en el análisis para determinar el efecto global de los DDGS en vacas lecheras. Para evaluar el nivel de inclusión de los DDGS sobre la producción lechera, los tratamientos se dividieron en cinco categorías; 0%, 4-10%, 10 a 20%, 20 a 30% y más de 30% sobre MS. También se tuvo en cuenta si eran húmedos o secos.

Los resultados indican que los DDGS de maíz se pueden considerar como de alta palatabilidad ya que el consumo de MS aumenta cuando se incluyen por encima del 20% de la MS. Reducción del consumo de MS con altos niveles de inclusión pueden ser debidos al alto contenido de GB y en el caso de los WDGS al alto contenido en humedad.

Existe una respuesta curvilínea en la producción lechera en respuesta al aumento de los DDGS en la dieta. Las dietas de vacas lecheras que contienen de 4 a 30% de DDGS producen la misma cantidad de leche, aproximadamente 0,4 kg/día más, que cuando las vacas no consumen DDGS. Cuando las vacas consumen más del 30% de DDGS, la producción de leche tiende a disminuir. Estas vacas producen 0,8 kg/día menos que vacas que no consumen DDGS. Las vacas que consumieron más de 20% de WDGS reducen la producción lechera, pero ello estaría más relacionado con la disminución de la MSI.

El porcentaje de GB en la leche varió en función de los niveles de inclusión de los DDGS pero no se afectó de forma significativa por el nivel de inclusión o la forma. Estos datos se contraponen con la idea de que los DDGS de maíz deprimen la cantidad de grasa en leche. Hay muchos factores que influyen en la depresión de grasa. Primero, cuando se formulan raciones de vacas lecheras es importante incluir suficiente fibra a partir de los forrajes para mantener el adecuado funcionamiento del rumen. Como la fibra de los DDGS se la considera como no efectiva no debería considerarse igual que la fibra procedente de los forrajes. Segundo, el alto porcentaje de GB contenida en los DDGS puede influir de tal modo que se produzca dicha depresión de grasa.

El porcentaje de PB en la leche no fue diferente entre las vacas con raciones que contenían entre 0 y 30% de DDGS. Sin embargo, el porcentaje de PB en la leche bajó 0,13 puntos porcentuales cuando los DDGS se usaron por encima del 30% de la ración total comparado con la ración control. Ello pudiera deberse a que con estos niveles tan altos hay menor digestibilidad de la proteína a nivel intestinal, menor concentración de lisina y un desequilibrio en el perfil de AA.

Kleinschmit et al. (2006) encontraron mayor producción de leche, proteína y grasa cuando la TS se sustituyó por DDGS de maíz al 20%. De manera similar, Janicek et al.

(2008) y Anderson et al. (2006) encontraron una mejora en la producción de leche, proteína y grasa cuando se incrementó el nivel de DDGS, probablemente debido a una mayor ingestión de PNDR como consecuencia de ir aumentando los niveles de DDGS. En un trabajo posterior, Mulrooney et al. (2009) no encontraron diferencias en la MSI, producción de leche, producción de grasa y proteína cuando se sustituyó DDGS por diferentes fuentes de proteína en distintos porcentajes.

Urdl et al. (2006), en un trabajo sobre DDGS de maíz y DDGS de trigo producidos en plantas de producción de etanol de Austria, no encontraron diferencias significativas en la MSI, la producción de leche ni en la composición de la misma (proteína, grasa y lactosa) entre el tratamiento control, que contenía una mezcla de TS y TC como suplemento proteico y los tratamientos con DDGS de trigo y DDGS de maíz en vacas consumiendo ensilado de hierba y ensilado de maíz y con una producción media de 26,2 kg/día, con una GB de 4,46% y 3,35% de PB en la leche.

Westreicher, (2013) en su tesis doctoral indica que no se encontraron diferencias significativas en el consumo de MS de vacas cuando se alimentaron con TC frente a los DDGS de maíz a los niveles de inclusión de 17 y 15%, respectivamente. En el trabajo de Westreicher, (2013) no existen diferencias ni en la producción ni en el porcentaje de GB en la leche cuando se comparan los DDGS de maíz frente al control con TC.

2.4.2 DDGS de maíz en raciones de vacuno de carne

Gordon et al. (2002) emplearon dietas conteniendo 0, 15, 30, 45, 60 y 75% sobre MS al emplear DDGS de maíz en la ración de acabado de novillos durante 153 días y observó que había una pequeña y linear mejora en la terneza de la carne de los animales alimentados con cantidades creciente de DDGS. Erickson et al. (2005) indican que dietas que contienen DDGS de maíz no modifican la calidad ni el peso de la canal y tampoco afecta a las características organolépticas de la carne de vacuno. Buckner et al. (2007) realizaron un estudio para evaluar los efectos del nivel de DDGS en dietas de acabado de terneros sobre los rendimientos y las características de la canal. El resultado de este estudio mostró que no existen efectos significativos al aumentar el nivel de DDGS sobre la MS ingerida, el espesor de la grasa subcutánea dorsal de la canal a la altura de la 12^a costilla (EGD), el área del músculo del lomo, la grasa intersticial, pero hubo un efecto cuadrático sobre la GMD y el peso de la canal en caliente (PCC) y una tendencia cuadrática en el IC. Klopfenstein et al. (2008) empleando los datos de Bruckner et al. (2007), sobre otros 4 ensayos en su metanálisis, indican que existe una respuesta cuadrática a la GMD cuando se incrementaban los niveles de DDGS en el alimento, pero observó una respuesta cúbica en el IC. Los resultados del metanálisis muestran que el máximo valor de GMD se produce cuando se incluyen de 20 a 30% de

DDGS en la dieta, el mejor valor de IC se obtiene con un nivel de DDGS de 10 a 20% de la dieta.

Leupp et al. (2009) evaluaron los efectos del incremento de los niveles de DDGS de maíz sobre la ingestión, digestión, y la fermentación ruminal en novillos alimentados con un 70% de concentrados en donde el maíz aplastado podía ser reemplazado hasta un 60% de DDGS sin efectos negativos sobre la digestibilidad de la materia orgánica (MO) y sugiere que los DDGS se pueden incluir al 30% de la MS durante el periodo de crecimiento y acabado reemplazando el maíz sin detrimento sobre los rendimientos productivos, las características de la canal o los atributos organolépticos de la carne. Sin embargo, empleando DDGS al 30% se puede afectar de forma negativa el color de la carne.

Koger et al. (2010), en novillos de raza Angus, emplearon dietas con un contenido del 20 o 40% de WDDGS para reemplazar toda la TS y algo de maíz, de tal modo que la canal de los animales que consumieron WDDGS tenían mayor espesor de grasa y mayores rendimientos que los novillos alimentados con maíz, TS y heno de alfalfa como dieta control.

2.5. UTILIZACIÓN DE DDGS DE TRIGO EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE

2.5.1 DDGS de trigo en raciones de vacas lecheras.

Diferentes autores indican que los DDGS de trigo son adecuados para mejorar el rendimiento de los rumiantes en parámetros como consumo de MS, GMD, IC, días de cebo, producción de leche, calidad de leche y de carne, siendo equivalente o ligeramente mejor que los piensos industriales. Los DDGS de trigo pueden ser una buena fuente de energía y proteína para rumiantes cuando se emplean al 15% (Walters, 2010; Klopfenstein et al., 2008). Zhang et al. (2010b) realizaron un ensayo con una mezcla de DDGS de maíz y de trigo (70:30) reemplazando forraje por un lado y concentrado por otro y los animales respondieron de manera adecuada en ambos casos.

En una serie de estudios (Urdl et al., 2006; Todorov et al., 2007; Nuez Ortín et al., 2010; Chapoutot et al., 2010; Chrenková et al., 2012; Maxin et al., 2013) el rango de valores de degradabilidad de la PB está comprendido entre el 44,80 y el 84,8%.

Los DDGS de trigo son una excelente fuente de PNDR (Nuez 2010; Walter 2010) de tal modo que el nivel de PNDR sobre PB es del 54,5% frente a 26,2% en el grano de trigo. Nuez y Yu (2010) indicaron que si los DDGS se obtienen mediante procesos que

no impliquen exceso de temperatura durante la producción de etanol se puede obtener un buen valor de PNDR.

Los DDGS de trigo pueden ser una buena fuente de energía y proteína para los rumiantes cuando se emplea al 15% de inclusión (Walters, 2010; Klopfenstein et al., 2008). Penner y Christensen (2009) encontraron que los DDGS de trigo o los DDGS de maíz pueden reemplazar un 19% de concentrado (cebada y harina de canola) sin que haya un impacto negativo en la producción de leche ni en la composición de la leche ni sobre la rumia del alimento. En un trabajo de Franke et al, (2009) se indica que cuando se reemplaza DDGS de trigo por TC no se producen cambios ni en la producción de leche, ni en la producción de grasa en la leche ni en la MSI. Zhang et al. (2010) reemplazaron una parte de ensilado de cebada con 20% de DDGS o con 20% de DDGS y 10% de heno de alfalfa. La MSI, la producción de leche y la producción de proteína se incrementaron ligeramente al introducir DDGS de trigo. El contenido en aceite de los DDGS de maíz permite alcanzar los requerimiento de los animales mientras deprime la MSI (Anderson et al., 2006), sin embargo, los DDGS de trigo con menor contenido en GB no produce una reducción de la MSI. Dunkel (2010) estudió el efecto de los DDGS de trigo como única fuente de proteína en vacas lecheras en donde se redujo la producción lechera sin modificar la composición de grasa y proteína de la misma. Chibisa et al. (2012) reemplazaron TC y TS por diferentes proporciones de DDGS de trigo, hasta el 20% de la MS, produciéndose mejoras significativas en el consumo de MS, producción de leche, así como en producción total de grasa y proteína, ello sin tener efecto sobre el contenido de proteína y grasa cuando se usó al 15% de DDGS comparado con el control.

2.5.2 DDGS de trigo en raciones de vacuno de carne.

Van de Kerckhove y Lardner, (2008) indican que los DDGS de trigo son una alternativa a la cebada como suplemento energético y proteico, con incrementos de peso (-2,27 a +11,79 kg), y con positivos cambios de condición corporal (0,1- 0,2) e incrementos de la grasa subcutánea en la 12ª costilla (0,6-1,1 mm) y en la grasa de la grupa (1-3 mm). McKinnon y Walker (2008) vieron que los DDGS de trigo se pueden incluir al 25-50% de la ración, sustituyendo a la cebada, sin producir un impacto adverso sobre los rendimientos de los animales. Empleando el 50% de DDGS de trigo en la dieta, no se producían mejoras en comparación a cuando se incorporaron al 25%. Del mismo modo, Gibb et al. (2008) reemplazaron un 20% de MS o 40% de MS de cebada por DDGS de trigo sin que se produjeran diferencias significativas en el consumo de MS, la GMD o el IC. Clark y Lardner (2009) determinaron que terneros suplementados con 0,8-1% de su peso vivo (PV) con DDGS de trigo o la combinación

de 50:50 de DDGS de trigo: cebada se producían ganancias de peso iguales o ligeramente superiores que solo con cebada.

Uno de los aspectos importantes en el engorde de terneros es el efecto que pueden tener ciertos ingredientes sobre la calidad de la canal. Aldai et al. (2009) utilizaron niveles de DDGS de trigo del 20 y 40% frente a dietas en base a cebada, sin que se produjeran cambios en la calidad de la carne (composición química, tiempo de cocinado, pérdidas durante el cocinado, terneza, goteo, color) ni diferencias en los test sensoriales (sabor, olor, aspecto visual). Tampoco se observaron diferencias en la grasa dorsal, superficie del lomo ni en el grado de infiltración. La calidad de la canal, incluyendo la vida media, el color y la estabilidad se reduce con altos niveles (40-50%) de DDGS de maíz (Aldai et al., 2009). Walter (2010) indica que el grado de infiltración se reduce cuando se emplean niveles mayores del 23% de DDGS de maíz. Sin embargo, el PCC se incrementa. Por el contrario, Swanson (2010) indica que cuando se incluyen DDGS de maíz en dietas de acabado al 0, 17, 33 y 50% no existen diferencias significativas en el grado de infiltración ni en el rendimiento de la canal. Stoll et al. (2010) observaron que la carne fileteada de animales alimentados con DDGS de trigo era más clara y las características de la carne y del cocinado no se vieron afectadas. En dietas en base a cebada, la carne fileteada tenía mejor color que la de los animales alimentados con DDGS de trigo y ésta producía carne con mejor estabilidad del color que los alimentados con DDGS de maíz.

Cuando se produce el etanol a partir del almidón resulta un producto con un contenido muy bajo de almidón, pero la proteína, la fibra y la grasa se concentran. El incremento de grasa, especialmente en los DDGS de maíz, tiene la posibilidad de alterar la composición de la canal de los bovinos. La adición de DDGS de trigo en la dieta (20-40% de MS) disminuye el isómero 10t:18:1 (ácido graso *trans*, considerado no saludable) e incrementa el isómero 11t:18:1 (saludable) (Aldai et al., 2010 y Dugan et al., 2010).

2.6. UTILIZACIÓN DE TORTA DE SOJA EN LA ALIMENTACIÓN DE VACUNO DE LECHE Y CARNE

La TS es un subproducto procedente de la extracción del aceite a partir del haba de soja. Lo más habitual es la extracción del aceite por solventes en donde las habas de soja se parten, son tratadas con calor y se extrae el aceite mediante solventes, generalmente con hexano. La harina extractada se seca para extraer el solvente, se tuesta o extrusiona y se muele. A veces, las habas se descascarillan antes de la extracción y éstas pueden añadirse a la harina al final del proceso.

La TS está considerada desde hace tiempo una fuente de proteína de alta calidad para todas las especies animales. De hecho, la TS se considera como la proteína estándar cuando se compara con otras fuentes proteicas. La TS es rica en proteína de alta digestibilidad y dispone de un adecuado perfil de AA, sobre todo para el crecimiento y la producción de leche.

Una manera de comparar la calidad y el valor nutricional de la proteína de las diferentes fuentes es comparar el contenido en lisina, ya que es el primer AA limitante para los animales. La proteína de soja contiene, aproximadamente 6,5% de lisina, este valor es muy similar al del contenido en lisina de la proteína del músculo y de la leche (está comprendida entre el 6,5 y el 7% de lisina). Otras harinas oleaginosas tienen menor contenido en lisina, tabla 2.3., por ejemplo, en la TC el contenido en lisina con respecto la PB es de 5,6%, en la harina de algodón es del 4,0%, en la harina de cacahuete es del 3,2% y en la TG es del 3,57% (FEDNA, 2010).

Tabla 2.3. Contenido de AA expresados como % de la PB. FEDNA, 2010

% PB	TS	TC	DDGS maíz	DDGS trigo	TG	Torta de Palmiste	Torta de Cacahuete	Torta de Algodón
Lisina	6,13	5,6	2,98	2,53	3,57	2,90	3,20	4
Metionina	1,43	2,01	1,94	1,30	2,26	1,83	1,04	1,50
Met +cistina	2,94	4,40	3,89	3,69	4,01	3,15	2,43	3,20
Treonina	3,94	4,42	3,74	2,98	3,60	3	2,70	3,20
Triptófano	1,33	1,34	0,78	1,02	1,30	0,73	1,02	1,21
Valina	4,84	5,10	4,85	4,30	4,90	4,84	4	4,45
Isoleucina	4,56	3,95	3,70	3,50	4,05	3,45	3,35	3,20

En la TS hay una serie de factores antinutricionales que se destruyen en el proceso de obtención del aceite. Además, la TS no contiene sustancias que limiten su inclusión en las dietas de los animales.

La degradabilidad de la proteína de la TS, TC, TG, harina de cacahuete y harina de algodón es de 65, 70, 76, 75 y 55%, respectivamente. El coeficiente de digestibilidad de la PNDR es de 95, 80, 86, 90 y 80%, respectivamente (FEDNA, 2010). La TS se trata de una fuente con alta concentración de PB (44 a 49%), altamente digestible y el perfil de sus AA es muy similar al ideal para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales en producción, ninguna otra fuente proteica de origen vegetal tiene características similares. La TS es una fuente alta de lisina, triptófano, treonina, isoleucina, valina y arginina, estos AA son muy deficientes en los granos de cereales. Sin embargo, se trata de una fuente que es deficiente en metionina y cistina. La TS es la fuente proteica que más se emplea en muchos países para vacas lecheras de alta producción.

En dietas isonitrogenadas la proteína de la TS es solo un poco peor que cuando se emplea harina de pescado como fuente proteica (Abu-Ghazaleh et al., 2001; Korhonen et al., 2002), la razón es que la TS tiene un bajo contenido relativo de metionina comparado con la proteína de la leche (NRC, 2001). Ipharraguerre y Clark (2005) indican que es difícil mejorar la producción de leche añadiendo otras fuentes de proteína no degradable cuando se usa TS. La respuesta en producción de leche fue de -2,5 a +2,75%, lo cuál significa que no es posible incrementar la producción de leche de forma significativa empleando otras fuentes proteicas distintas que la TS. De todos modos, Brito et al. (2007) encontraron prácticamente igual flujo de N no amoniacal en el omaso de vacas lecheras recibiendo raciones isoproteicas con TC y TC como fuente proteica. Mulrooney et al. (2009), sin embargo, no encuentran diferencias en el consumo de MS cuando los DDGS se reemplazan por TS, pero la producción de leche tiende a ser mayor en vacas alimentadas con TS. La producción de proteína tiende a ser menor en vacas alimentadas con DDGS comparado con las dietas con TS, pero a pesar de ello, no hay diferencias en el contenido de GB en leche ni en la producción de grasa. La eficiencia del alimento fue igual para ambas raciones. Mjoun et al. (2010a y 2010b) encontraron mayor eficiencia del alimento en vacas alimentadas con DDGS comparado con dietas con TS. Mjoun et al. (2010b) comparando dietas isoproteicas e isoenergéticas con TS y DDGS no encontraron diferencias en la producción de leche, grasa en leche y lactosa, pero debido a la aparente deficiencia de lisina, el porcentaje y la producción de proteína en leche fue menor en las dietas con DDGS. En un estudio de Korhonen et al. (2002) se muestra el significativo efecto de la degradabilidad de la proteína en el rumen para la producción de leche. En dicho ensayo, la producción de leche fue mayor en vacas alimentadas con gluten meal comparado con TS, independientemente de la mejor

composición en AA de la TS. La TS aporta mayor cantidad de AA digestibles comparado con los DDGS. Sin embargo, la TS es mejor fuente de lisina digestible a nivel intestinal (Mjoun et al., 2010c).

En otro experimento de Chibisa et al. (2012) reemplazando TC por DDGS de trigo encuentran un incremento de consumo de MS y de la producción de leche. La tendencia de reducir la eficiencia del alimento se produce cuando los DDGS de trigo sustituyen a la TS. Sin embargo, no se observa una disminución del porcentaje de PB en leche de vacas alimentadas con DDGS

Abdelgader y Oba (2012) estimaron que la sustitución de TS por DDGS de maíz se producía un aumento de la MSI, pero se tiende a disminuir la digestibilidad de la proteína. Sin embargo, la concentración del N amoniacal en el rumen, la urea en plasma, la urea en leche fue mayor cuando se usaron DDGS. La producción de leche tiende a ser mayor, pero la concentración de la proteína en la leche era menor en vacas con dietas que contienen DDGS.

Las ventajas de la TS en comparación con otras fuentes proteicas de origen vegetal se pueden demostrar con un metanálisis realizado por Martineau et al. (2013) en donde se muestra menor diferencia cuando la TC sustituye a la TS.

Yildiz y Todorov (2014) indican que la TS, producida por un método apropiado de procesado es una excelente fuente de proteína de alta calidad con alta digestibilidad y con un adecuado balance de AA para animales. A pesar de que en numerosos ensayos con vacas lecheras con dietas con diferentes fuentes proteicas, es posible producir mayor producción de leche así como mayor producción de proteína. Esto significa que es posible encontrar una combinación de proteína en la ración de vacas lechera sin emplear TS de tal modo que se puede producir igual producción y eficiencia del alimento.

2.7. RESUMEN

Así pues, en la UE los DDGS (maíz y trigo) y la TC se emplean como fuente de proteína y energía en las dietas de los rumiantes, existe información nutricional de estos ingredientes y ello indica variabilidad en su composición, pero son adecuados por su buena fuente de proteína no degradable en el rumen. En el caso de la TC, además, el perfil de AA lo hace atractivo para su empleo en dietas de vacas lecheras y de terneros en crecimiento y cebo. La composición de estos ingredientes varían dependiendo de varios factores tales como la composición del cereal de donde proceden o de la variedad de la semilla de colza empleada y las respectivas condiciones agronómicas de cultivo, hay diferencias debidas a los distintos ratios de adición de solubles a los DDGS y las

condiciones de temperatura a las que son sometidos durante el proceso de obtención de etanol o de extracción del aceite en el caso de la TC. Dado que existe cierta variación en la composición de estos ingredientes es conveniente realizar análisis con el fin de caracterizarlos convenientemente y poder formular raciones con más exactitud.

La TS es considerada como la fuente de proteína mas adecuada para la alimentación animal debido a su composición en AA, sobre todo la lisina. Dado que la UE es deficitaria en el aporte de proteína para la alimentación animal y que depende en un 70% de las importaciones de soja, es conveniente desde el punto de vista estratégico y de reducción de los costes de la alimentación buscar alternativas a la TS a través de los productos procedentes de la producción de biocombustibles (DDGS y TC).

Estos ingredientes son candidatos a suplir el empleo de TS en las dietas de rumiantes si se tienen en cuenta la composición nutricional y son caracterizados convenientemente. Actualmente no hay mucha información sobre la utilización de DDGS y de TC en condiciones de producción animal españolas.

2.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Abdelqader, M.M. and Oba, M. 2010. Feeding wheat distillers grains compared with corn distillers grains in dairy cow diets: Effect on milk production. *WCDS Advances in Dairy Technology*, **22**, 376 (Abstr.).
- Abu-Ghazaleh, A.A., Schingoethe, D.J. and Hippen, A.R. 2001. Blood amino acids and milk composition from cows fed soybean meal, fish meal, or both. *J. Dairy Sci.*, **84**(5), 1174-1184.
- Adams, J., C. Cassarino, J. Lindstrom, L. Eslin, S. M. Lux, and Holcomb, F.H. 2006. Canola oil fuel cell demonstration: volume III-technical, commercialization, and application issues associated with harvested biomass. Disponible desde Internet en: <http://dodfuelcell.cecer.army.mil/library_items/CanolaVol_III.pdf>
- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. 159 pp. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- Ahlin, K.A., Emmanuelson, M. and Wiktorsson, H. 1994. Rapeseed products from double low cultivars as feed for dairy cow: effects of long term feeding on thyroid function, fertility and animal health. *Acta Vet. Scand.*, **35**, 37-53.
- Aldai, N., Aalhus, J.L., Dugan, M.E.R., McAllister, T.A., Walter, L.J. and McKinnon, J.J. 2009. Retail and sensory quality of *Longissimus thoracis* from steers fed corn- or wheat-based dry distillers' grains plus soluble (DDGS). *J. Anim. Sci.*, **87**, E-Suppl. Abstract Joint Annual Meeting.

- Aldai, N., Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., McAllister, T.A., Walter, L.J. and McKinnon, J.J. 2010. Differences in the trans-18:1 profile of the backfat of feedlot steers fed wheat or corn based dried distillers' grains. *Anim. Sci. Tech.*, **157**, 168-172.
- Anderson, J.L., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **89**(8), 3133-3142.
- Anderssen, H.R. and Sorensen, H. 1985. Double low rapeseed meal in diets of young bulls. Advances in the production and utilization of cruciferous crops. *Proceedings of the Seminar in the CEC Programme of Research on Plant Protein Improvement*. 11-13 September 1984, Copenhagen (Denmark). pp. 208-217.
- Arieli, A., Ben-Moshe, A., Zamwel, S. and Tagari, H. 1989. In situ evaluation of the ruminal and intestinal digestibility of heat-treated whole cottonseeds. *J. Dairy Sci.*, **72**(5), 1228-1233.
- Bahdra, R., Muthukumarappan, K. and Rosentrater, K. A. 2007. Characterization of chemical and physical properties of DDGS for value added uses. *Proceedings ASABE*. St. Joseph, MI, USA.
- Barthet, V.J. and Daun, J.K. 2011. Seed morphology, composition, and quality. pp. 135-145. In: *Canola: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. Daun, J.K., Eskin, N.A.M., Hickling, D. Eds. AOCS Press, Urbana, IL. USA.
- Batal, A. and Dale, N. 2003. Mineral Composition of distillers dried grains with solubles. *J. Appl. Poult. Res.*, **12**, 400-403.
- Beliveau, R.M. 2008. Effect of graded levels of wheat-based distiller's grains in a barley ration on the growth performance, carcass quality and rumen characteristics of feedlot steers. MSc Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada.
- Bell, J.M. and Shires, A. 1982. Composition and digestibility by pigs of hull fractions from rapeseed cultivars with yellow or brown seed coats. *Can. J. Anim. Sci.*, **62**, 557-565.
- Bell, J.M., 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: a review. *J. Anim. Sci.*, **58**, 996-1010.
- Bell, J.M. and Keith, M.O. 1990. A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced in Western Canadian crushing plants. *Can. J. Anim. Sci.*, **71**, 469-480.
- Bell, J.M. 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Can. J. Anim. Sci.*, **73**, 679-697.
- Belyea, R., Eckhoff, S., Walling, M. and Tumbleson, M. 1998. Variability in the nutritional quality of distillers solubles. *Biores. Technology.*, **66**, 207-212.
- Belyea, R.L., Rausch, K.D. and Tumbleson, M.E. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Biores. Technol.*, **94**(3), 293-298.
- Berger, L. and Singh, V. 2010. Changes and evolution of corn for feed cattle. *J. Anim. Sci.*, **88** (E. Suppl.) 143-150

- Berry, C.S. 1986. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion and amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. *J. Cereal Sci.*, **4**, 301-314.
- Birkelo, C.P., Brouk, M.J. and Schingoethe, D.J. 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **87**, 1815-1819
- Bohinc, T. and Trdan, S. 2012. Environmental factors affecting the glucosinolate in *Brassicaceae*. *J. Food, Agri. Environ.*, **10**(2), 357-360.
- Boila, R.J. and Ingalls, J.R. 1994a. The ruminal degradation of dry matter, nitrogen and amino acids in wheat-based distillers' dried grains in sacco. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **48**(1-2), 57-72.
- Bothast, R.J. and Schlicher, M.A. 2005. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **67**, 19-25
- Brand, T.S., Smith, N. and Hoffman, L.C., 2007. Anti-nutritional factors in canola produced in the Western and Southern Cape area of South Africa. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, **37** (1).
- Brito, A.F., Broderick, G.A. and Reynal, S.M. 2007. Effects of different protein supplements on omasal nutrient flow and microbial protein synthesis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **90**, 1828-1841.
- Britton, R.A., Klopfenstein, T.J., Cleale, R., Goedeken, F. and Wilkerson, V. 1986. Methods of estimating heat damage in protein sources. *Proceedings of Distillers Feed Conference*. 3 April. Cincinnati. Ohio. USA. pp. 41-67.
- Buckner, C.D., Mader, T.L., Erickson, G.E., Colgan, S.L., Karges, K. and Gibson, M.L. 2007. Optimum levels of dry distillers grains with soluble for finishing beef steers. Nebraska Beef Cattle Report 2007. pp. 36-38. Disponible desde Internet en: <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1099&context=animalscinbcr>>
- Bruning, C.L. and Yokoyama, M.T. 1988. Characteristics of live and killed brewer's yeast slurries and intoxication by intraruminal administration to cattle. *J. Anim. Sci.*, **66**, 585-591.
- Bush, R.S., Ncholson, J.W.G., MacIntyre, T.M. and McQueen, R.E. 1978. A comparison of Candle and Tower rapeseed meal in lamb, sheep and beef steer rations. *Can. J. Anim. Sci.*, **58**, 369-376.
- Canola Council of Canada. 2009. Canola Meal, Feed Industry Guide. 4th edition. Newkirk, R., editor. Winnipeg, Manitoba. Canada.
- Cao, Z.J., Anderson, J.L. and Kalscheur K.F. 2009. Ruminal degradation and intestinal digestibility of dried or wet distillers grains with increasing concentrations of condensed distillers solubles. *J. Anim. Sci.*, **87**, 3013-3019
- Chapoutot, P., Weiss, P. and Morel, F. 2002. Variabilité de composition chimique et dégradabilité de l'azote des drèches de blé. *Renc. Rech. Ruminants*. **7**.
- Chase, L.E. 1991. Feeding distillers grains and hominy feed. *Proceedings of the Alternative feeds for dairy and beef cattle*. St. Louis, MO, USA. pp. 15-19.

- Cheng, K.J., McAllister T.A. and Rode, L.M. 1993. Use of acidulated fatty acids to increase the rumen undegradable protein value of canola meal. 10th project report. Research on canola seed, oil and meal. Canola Council of Canada. Winnipeg. Canada.
- Chen, S. and Andreasson, E., 2001. Update of glucosinolate metabolism and transport. *Plant Physiol. Biochem.*, **39**, 743–758.
- Chibisa, G.E., Christensen, D.A. and Mutsvangwa, T. 2012. Effect of replacing canola meal as the major protein source with wheat dried distillers grains with solubles on ruminal function, microbial protein synthesis, omasal flow, and milk production in cows. *J. Dairy Sci.*, **95**, 824-841.
- Chrenková M., Čerešňáková Z., Formelová Z., Poláčiková M., Mlyneková Z. and Fľak P. 2012. Chemical and nutritional characteristics of different types of DDGS for ruminants. *J. of Anim. And Feed Sci.*, **21**, 425-435
- Clandinin, D.R., 1961. Rapeseed oil meal studies. 4. Effect of sinapin, the bitter substance in rapeseed oil meal, on the growth of chickens. *Poultry Sci.*, **40**, 484-487.
- Clark, L., Lardner, B. and Iwaasa, A. 2009. Wheat-based dried distillers grains supplementation in backgrounding and stocker programs. WBDC, Division of PAMI. Fact sheet 2009-01.
- Classen, H.L., Newkirk, R.W. and Maenz, D.D. 2004. Effects of conventional and novel processing on the feed value of canola meal for poultry. *Proceedings of 16th Australian Poultry Science Symposium*. 9-11 February 2004, Sydney (Australia). pp. 1-8.
- Classen, H.L., Ebsim, S. and Newkirk, R.W. 2010. Use of canola and pea in animal feeding: a Canadian perspective. *XXVI Curso de especialización FEDNA*. Noviembre 2010, Madrid (España).
- Claypool, D.W., Hoffman, C.H., Oldfield, J.E. and Adams, H.P. 1985. Canola meal, cottonseed and soybean meals as protein supplements for calves. *J. Dairy Sci.*, **68**, 67-70.
- Corino, C., Baldi, A. and Bontempo, V. 1991. Influence of low glucosinolate rapeseed meal on performance and thyroid hormone status of heavy pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **35**, 321–331.
- Cozannet, P., Primot, Y., Gady, G., Metayer, J.J., Lessire, M., Skiba, F. and Noblet, J. 2011. Standardised amino acid digestibility of wheat distillers' dried grains with solubles in force-fed cockerels. *British Poultry Sci.*, **52**(1): 72-83.
- Cromwell, G.L., Herkelman, K.L. and Stahly, T.S. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.*, **71**(3), 679-686.
- Cyriac, J., Abdelqader, M., Kalscheur, K., Hippen, A.R. and Schingoethe, D.J. 2005. Effect of replacing forage fiber with non-forage fiber in lactating dairy cow diets. *J. Dairy Sci.*, **88** (Suppl.), 252.

- Depenbusch, B.E., Coleman, C.M., Higgins, J.J. and Drouillard, J.S. 2009. Effects of increasing levels of dried corn distillers grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of yearling heifers. *J. Anim. Sci.*, **87**(8), 2653-2663.
- Diederichsen, A., and McVetty, P.B.E. 2011. Botany and plant breeding. Page 29-56. In *Canola: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. Daun, J.K., Eskin, N.A.M., Hickling, D. Eds. AOCS Press, Urbana, IL. USA.
- Dong, F.A. and Rasco, B.A. 1987a. The neutral detergent fiber, acid detergent fiber, crude fiber, and lignin contents of distillers' dried grains with solubles. *J. Food Sci.*, **52**(2), 403-405.
- Dong, F.M., Rasco, B.A. and Gazzaz, S.S. 1987b. A protein quality assesment of wheat and corn distiller's dried grains with solubles. *Cereal Chem.*, **64**, 327-332.
- Dugan, M.E.R., Aldai, N., Kramer, J.K.G., Gibb, D.J., Juarez, M. and McAllister, T.A. 2010. Feeding wheat dried distillers' grains with solubles improves beef trans and conjugated linoleic acid profiles. *J. Anim. Sci.*, **88**, 1842-1847.
- Dunkel S, Potthast C, Eggers J, Trauboth K, and Früh G. 2010. Trockenschlempe und Rapsextraktionsschrot als alleiniger Proteinergänzer in Futterationen für Hochleistungskühe. *122 VDLUFA-Kongress. VDLUFA-Verlag, Darmstadt*. 21-24 de septiembre 2010, Kiel (Alemania). pp. 613-622.
- EEA (European Environment Agency). 2008. Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2006 and inventory report 2008. Technical Report No. 6. Copenhagen, Denmark.
- Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Adams, D.C. and Rasby, R.J. 2005. Utilization of corn coproducts in the beef industry. - A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division, Cooperative Extension Division. Disponible desde Internet en: <<http://www.nebraskacorn.org>>
- Etienne, M. and Dourmad, J. 1994. Effects of zearalenone or glucosinolates in the diet on reproduction in sows: A review. *Livest. Prod. Sci.*, **40**, 99-113.
- EUROSTAT, 2014. Producción europea de colza. Disponible desde Internet en: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=fr&pcode=tag00104>>
- Fahey, J.W., Zalcmán, A.T. and Talalay, P. 2001. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* **56**(1), 5-51.
- FEDNA (Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal). 2010. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ª edición. De Blas, C., Mateos, G.G. y García-Rebollar, P. Ed. FEDNA. Madrid. España.
- Firkins, J.L., Berger, L.L. and Fahey, G.C., Jr. 1985. Evaluation of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. *J. Anim. Sci.*, **60**(3), 847-860.

- FOBI, Network. 2013. Wheat DDGS Feed Guide. Edition 1.1. Disponible desde Internet en: <https://cigi.ca/wp-content/uploads/2013/02/DDGS-Feed-Guide_Revised_Jan.-2013.pdf>
- Francisco, M., Padilla, G., Lema, M. y Velasco, P. 2009. El grelo en Galicia. *Revista de Horticultura*, **210**:44-49.
- Franke, K., Meyer, U. and Flachowsky, G. 2009. Distillers dried grains with solubles compared with rapeseed meal in rations of dairy cows. *J. Anim. Feed Sci.*, **18**, 601-612.
- Frohne, D. and Pfander, H.J. 2005. Poisonous Plants. A handbook for doctors, pharmacists, toxicologists, biologists and veterinarians. 2nd Ed. Manson Publishing Ltd. London, UK.
- Hobson-Frohock, A., D. G. Land, N. M. Griffiths, and R. F. Curtis, 1973. Egg taints: Association with trimethylamine. *Nature* **243**, 304-305.
- Ganesan, V., Rosentrater K.A., and Muthukumarappan, K. 2006. Effect of moisture content and soluble levels on the physical and chemical properties of DDGS. *ASAE Annual International Meeting*. July, Tampa, Fl (USA). pp. 17-20.
- Gibb, D. J., Hao, X. and McAllister, T. A. 2008. Effect of dried distillers' grains from wheat on diet digestibility and performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **8**(4), 659-665.
- Goering, H. K., Gordon, C.H., Hemken, R.W., Waldo, D.R., Van Soest, P.J. and Smith, L.W. 1972. Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. *J. Dairy Sci.*, **55**(9), 1275-1280.
- Gordon, C.M., Drouillard, J.S., Phebus, R.K., Hachmeister, K.A., Dikeman, M.E., Higgins, J.J., and Reicks, A.L. 2002b. The effect of Dakota Gold Brand dried distiller's grains with solubles of varying levels on sensory and colour characteristics of rib eye steaks. Cattleman's Day 2002, Report of Progress 890. Kansas State University. pp. 72-74. Disponible desde Internet en: <<http://www.ddgs.umn.edu/articles-beef/2002-Gordon%20Dakota%20Gold%20brand%20ddgs%20%20Effects%20on%20finishing--.pdf>>
- Gralak, M.A., Kamalu, T., von Keyserlingk, M.A.G. and Kulasek, G.W. 1997. Rumen dry matter and crude protein degradability of extracted or untreated oilseeds and *Leucaena leucocephala* leaves. *Arch. Anim. Nutr.*, **50**, 173-185.
- Ha, J.K. and Kennelly, J.J. 1984. In situ dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **64**, 443-452.
- He, M.M. Gibb, D., McKinnon, J.J. and McAllister T.A., 2013. Effect of high dietary levels of canola meal on growth performance, carcass quality and meat fatty acid profiles of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **93**, 269-280.
- Ham, G.A., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Larson, E.M., Shain, D.H. and Huffman, R.P. 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.*, **72**(12), 3246-3257.

- Harty, S.R., Akayezu, J.M., Linn, J.G. and Cassady, J.M. 1998. Nutrient composition of distillers grains with added solubles. *J. Dairy Sci.*, **81**, 1201.
- Herold, D.W. 1999. Solvent extracted germ meal for ruminants. PhD Thesis. University of Nebraska. Lincoln, NB.USA.
- Hill, R., Vincent, I.C. and Thompson, J. 1990. The effects on food intake in weaned calves of low glucosinolate rapeseed meal as the sole protein supplement. *Anim. Prod.*, **50**, 586-587.
- Homolka, P., Harazim, J. and Třináctý, J. 2007. Nitrogen degradability and intestinal digestibility of rumen undegraded protein in rapeseed, rapeseed meal and extracted rapeseed meal. *Czech J. Anim. Sci.*, **52** (11), 378–386.
- Huhtanen, P., Hetta, M. and Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Can. J. Anim. Sci.*, **91**, 529-543.
- Ingalls, J. R. 1995. The ruminal and post ruminal in situ digestion of dry matter, nitrogen, and amino acids in wheat based dried distillers grains. *Proceedings Distillers Feed Research Council*. 20-31 March 1995.
- INRA. 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Sauvant, D., Pérez, J.M, et Tran G. Ed. INRA. París. Francia.
- Ipharraguerre, I.R. and Clark, J.H. 2005. Impact of the source and amount of crude protein on the intestinal supply of nitrogen fractions and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **88**(E Suppl.), E22-E37.
- Jameson, R.P.M., Palmer, G.H., Spouge, J. and Bryce, H. 2001. Resistant starch formation in grain distillery mashes. *J. Inst. Brew.*, **107**(1), 3-10.
- Janicek, B.N., Kononoff, P.J., Gehman, A.M. and Doane, P.H. 2008. The effect of feeding dried distillers grains plus solubles on milk production and excretion of urinary purine derivatives. *J. Dairy Sci.*, **91**, 3544-3553.
- Jansman, A.J.M. 1993. Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutr. Res. Rev.*, **6**, 209-236.
- Jensen, S.K., Yong-Gang, L. and Eggum, B.O. 1994. The effect of heat treatment on glucosinolates and nutritional value of rapeseed meal in rats. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **53**, 17-28.
- Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Mortensen, G., Fieldsend, J.K., Milford, G.F.J., Anderson, M.N. and Thage, H., 1996. Seed glucosinolate, oil, protein content of field grown rape (*Brassica L.*) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crop Res.*, **47**, 93–105.
- Kalscheur, K.F. Impact of feeding distiller's grains on milk fat, protein, and yield. *9th Annual Symposium of Distiller's grains technology council*. May 18, 2005, Louisville, KY (USA).
- Kelzer, J.M., Kononoff, P.J., Karges, K. and Gibson, M.L. 2007. "Evaluation of Protein Fractionation and Ruminal and Intestinal Digestibility of Corn Milling Co-

- products". Dakota Gold Research Association. Disponible desde Internet en: <<http://www.dakotagold.org/research/dairy.asp>>
- Kendall, E.M., Ingalls, J.R. and Boila, R.J. 1991. Variability in the rumen degradability and postruminal digestion of the dry matter, nitrogen and amino acids of canola meal. *Can. J. Anim. Sci.*, **71**, 739-754.
- Khajali, F. and Slominski, B.A. 2012. Factors that affect the nutritive value of canola meal for poultry. *Poult. Sci.*, **91**, 2564-2575.
- Khorasani, G.R., Robinson, P.H. and Kennelly, J.J., 1994. Evaluation of solvent and expeller linseed meals as protein sources for dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **74**, 479-485.
- Kim, Y., Mosier, N.S., Hendrickson, R., Ezeji, T., Blaschek, H., Dien, B., Cotta, M., Dale, B. and Ladisch, M.R. 2008. Composition of corn dry-grind ethanol by products: DDGS, wet cake, and thin stillage. *Biores. Technol.*, **99**(12), 5165-5176.
- Kingsly, A.R.P., Ileleji, K.E., Clementon, C.L., Garcia, A., Maier, D.E., Stroshine, R.L. and Radcliff. 2010. The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) – Plant scale experiments. *Biores. Technol.*, **101**, 193-199
- Kirkpatrick, B.K. and Kennelly, J.J. 1987. In situ degradability of protein and dry matter from single protein sources and from a total diet. *J. Anim. Sci.*, **65**, 567-576.
- Kleinschmit, D.H., Schingoethe, D.J., Kalscheuer, K.F. and Hippen, A.R. 2006. Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **89**, 4784-4794.
- Kleinschmit, D.H., Anderson, J.L., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2007. Ruminant and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.*, **90**(6), 2909-2918.
- Klopfenstein, T.J. 1991. Efficiency of escape protein utilization. *Proceedings Distillers Feed Conference*. p. 77.
- Klopfenstein, T.J., Erickson, G.E. and Bremer, V.R. 2008. Board-invited review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.*, **86**(5), 1223-1231.
- Klopfenstein, T.J., Mass, R.A., Creighton, K.W. and Patterson, H.H. 2001. Estimating forage protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.*, **79**, 208-216.
- Knott, J., Shurson, J. and Goihl, J. 2004. Variation and particle size and bulk density of distiller's dried grains with solubles (DDGS) produced by "new generation" ethanol plants in Minnesota and South Dakota. Disponible desde Internet en: <<http://www.ddgs.umn.edu/articles-proc-storage-quality/2004-Knott-%20Variation.pdf>>
- Koenig, K.M. and Beauchemin, K.A. 2005. Barley versus protein-supplemented corn-based diets for feedlot cattle evaluated using the NRC and CNCPS beef models. *Can. J. Anim. Sci.*, **85**, 377-388.
- Koger, T.J., Wulf, D.M., Weaver, A.D., Wright, C.L., Tjardes, K.E., Mateo, K.S., Engle, T.E., Maddock, R.J. and Smart, A.J. 2010. Influence of feeding various quantities of

- wet and dry distillers grains to finishing steers on carcass characteristics, meat quality, retail-case life of ground beef, and fatty acid profile of longissimus muscle. *J. Anim. Sci.*, **88**, 3399-3408.
- Kononoff, P.J. and Christensen, D.A. 2007. Feeding dried distillers grain to dairy cattle. *Western Nutritional Conference*. USA. pp. 1-13.
- Korhonen, M., Vanhatalo, A. and Huhtanen, P. 2002. Effect of protein source on amino acid supply, milk production, and metabolism of plasma nutrients in dairy cows fed grass silage. *J. Dairy Sci.*, **85** (12), 3336-3351.
- Kozłowska, H., Naczek, M., Shahidi, F. and Zadernowski, R. 1990. Phenolic acids and tannins in rapeseed and canola. pp. 193-210. In: *Canola and rapeseed: Production, chemistry, nutrition, and processing technology*. Shahidi, F. eds. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York. USA.
- Krishnamoorthy, U., Muscato, T.V., Sniffen, C.J. and Van Soest, P.J. 1982. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.*, **65**, 217-225.
- Laarveld, B., Brockman, R.P. and Christensen, D.A. 1981b. The effect of the level in canola meal concentrate on milk iodine and thiocyanate content and thyroid function in dairy cow. *Can. J. Anim. Sci.*, **61**, 625-632.
- Lajolo, F.M., Marquez, U.M.L., Filisetti-Cozzi, T.M.C.C. and McGregor, D.I. 1991. Chemical composition and toxic compounds in rapeseed (*Brassica napus*, L.) cultivars grown in Brazil. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 1933-1937.
- Leupp, J.L., Lardy, G.P., Bauer, M.L., Karges, K.K., Gibson, M.L., Caton, J.S. and Maddock, R.J. 2009. Effects of distillers dried grains with soluble on growing and finishing steer intake, performance, carcass characteristics, and steak colour and sensory attributes. *J. Anim. Sci.*, **87**, 4118-4124.
- Lesson, S., Atteh, J.O. and Summers, J.D., 1987. The replacement value of canola meal for soybean meal in poultry diets. *Can. J. Anim. Sci.*, **67**, 151-158.
- Little, C.O., Mitchell, G.E. and Potter, G.D. 1968. Nitrogen in the abomasum of wethers fed different protein sources. *J. Anim. Sci.*, **27**, 1722-1726.
- Liu, J., Ledoux, D.R. and Veum, T.L. 1998. In vitro prediction of phosphorus availability in feed ingredients for swine. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 2678-2681.
- Lodge, S.L., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Shain, D.H. and Herold, D.W. 1997. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts. *J. Anim. Sci.*, **75**, 37-43.
- Luebke, M.K., Erickson, D.O., Klopfenstein, T.J. and Greenquist, M.A. 2008. Nutrient mass balance and performance of feedlot cattle fed wet distillers grains. Nebraska Beef Cattle Report 2008. Disponible desde Internet en: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1023&context=animals_cinber>
- Mahan, D.C., Brendemuhl, J.H., Carter, S.D., Chiba, L.I., Crenshaw, T.D., Cromwell, G.L., Dove, C.R., Harper, A.F., Hill, G.M., Hollis, G.R., Kim, S.W., Lindemann, M.D., Maxwell, C.V., Miller, P.S., Nelssen, J.L., Richert, B.T., Southern, L.L., Stahly, T.S., Stein, H.H., van Heugten, E. and Yen, J.T. 2005. Comparison of dietary selenium fed to grower-finisher pigs for various regions of the United States on resulting tissue Se and loin mineral concentrations. *J. Anim. Sci.*, **83**, 852-857.

- Maison, T. 2013. Evaluation of the nutritional value of canola meal, 00-rapeseed meal, and 00-rapeseed expellers fed to piglets. PhD Thesis. University of Illinois. Urbana-Champaign. USA.
- Mailer, J.R., McFadden, A., Ayton, J. and Redden, B. 2008. Anti-nutritional components, fibre, sinapine, and glucosinolate content in Australian canola (*Brassica napus* L.) meal. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **85**, 937-944.
- Mandiki, S.N.M., Derycke, G., Bister, J.-L., Mabon, N., Wathelet, J.P., Marlier, M. and Paquay, R. 2002. Chemical changes and influence of rapeseed antinutritional factor on gestating and lactating ewes. Part 1. Animal performances and plasma hormones and glucose. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **98**, 25–35.
- Martineau, R. D., QueLlet, R. and Lapierre, H. 2013. Feeding canola meal to dairy cows: a meta-analysis on lactational responses. *J. Dairy Sci.*, **96**(3), 1701-1714.
- Martinez-Amezcu, C., Parsons, C.M., Singh, V., Srinivasan, R. and Murthy, G.S. 2007. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with solubles as affected by the amounts of grains versus solubles and different processing techniques. *Poult. Sci.*, **86**, 2624-2630.
- Maxin, G., Ouellet, D.R. and Lapierre, H. 2013. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, and amino acids in soybean meal, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. *J. Dairy Sci.*, **96**, 5151–5160.
- McKinnon, J.J., Olubobokun, J.A., Mustafa, A., Cohen, D.H. and Christensen, D.A. 1995. Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **56**(3-4), 243-252.
- McKinnon, J.J., Cohen, D.H., Jones, S.D. and Christensen, D.A. 1993a. Crude protein requirements of lerged frame cattle fed two levels of energy as weaned calves or as backgrounded yearlings. *Can. J. Anim. Sci.* **73**, 315-325.
- McKinnon, J.J. and Walker, A.M. 2008. Comparison of wheat-based dried distillers' grains with solubles to barley as an energy source for backgrounding cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **88**, 721-724.
- Mertens, D.R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds using refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *J. AOAC Int.*, **85**, 1217-1240.
- Martineau, R., Ouellet, D.R. and Lapierre, H. 2013. Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analyses on lactational responses. *J. Dairy Sci.*, **96**, 1701–1714.
- Mir, Z., MacLeod, G.K., Buchanan-Smith, J.G., Grieve, D.G. and Grovum, W.L. 1984. Methods for protecting soybean and canola proteins from degradation in the rumen. *Can. J. Anim. Sci.*, **64**, 853-865.
- Mjoun, K., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R., and Schingoethe, D.J. 2008. Ruminal phosphorus disappearance from corn and soybean feedstuffs. *J. Dairy Sci.*, **91**, 3938–3946.
- Mjoun, K., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R., Schingoethe, D.J., and Little, D.E. 2010a. Lactation performance and amino acid utilization of cows fed increasing amounts of reduced- fat dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.*, **93**, 288-303.

- Mjoun, K., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R. and Schingoethe, D.J. 2010b. Performance and amino acid utilization of early lactation dairy cows fed regular or reduced –fed dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.*, **93**, 3176-3191.
- Mjoun, K., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R. and Schingoethe, D.J. 2010c. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *J. Dairy Sci.*, **93**: 4144-4154.
- Moss, A.R. and Givens, D.I., 1994. The chemical composition, digestibility, metabolisable energy content and nitrogen degradability of some protein concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **47**, 335-351.
- Mulrooney, C.N., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2009. Canola meal replacing distillers grains with soluble for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **92**, 5669-5676.
- Mustafa, A., McKinnon, J.J. and Christensen, D.A. 2000b. Chemical characterization and in situ nutrient degradability of wet distillers' grains derived from barley-based ethanol production. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **83**, 301-311.
- Mustafa, A.F., McKinnon, J.J., Thacker, P.A. and Christensen, D.A., 1997. Effect of borage meal on nutrient digestibility and performance of ruminants and pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **64**, 273-285.
- Nagaraja, T.G., Newbold, C.J., Van Nevel, C.J. and Demeyer, D.I. 1997. Manipulation of ruminal fermentation. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. 2nd ed. Hobson, P.N. and Steward, C.S., eds. Ed. Blackie Academic and Professional. New York, NY. USA.
- Nakamura, T., Klopfenstein, T.T. and Britton, R.A. 1994. Evaluation of acid detergent insoluble nitrogen as an indicator of protein quality in non forage proteins. *J. Anim. Sci.*, **72**, 1043.
- Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T., Edney, M.J., Declercq, D.R. and Siemens, A.J. 2000. Prediction of lysine availability in canola meal. *Abstracts and Proceedings of XXI World's Poultry Congress*. 20-24 August, Montreal (Canada).
- Newkirk, R.W. 2002. The effects of processing on the nutritional value of canola meal for broiler chicken. PhD Thesis. Universidad de Saskatchewan. Saskatoon. Canada.
- Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T.A. and Edney, M.J. 2003a. The digestibility and content of amino acids in toasted and non-toasted canola meals. *Can. J. Anim. Sci.*, **83**, 131-139.
- Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T.A. and Edney, M.J. 2003b. Effects of prepress-solvent extraction on the nutritional value of canola meal for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.*, **104**, 111-119.
- Newkirk, R.W. 2011. Meal nutrient composition. pp. 229-244. In: *Canola: Chemistry, production, processing, and utilization*. Daun, J.K., Eskin, N.A.M. and Hickling, D., eds. Ed. AOCS Press. Urbana, IL. USA.
- Noll, S.L., Brannon, J. and Parsons, C.M. 2007. Nutritional value of corn distillers dried grains with solubles (DDGS): Influence of solubles addition. *Poult. Sci.*, **86** (Suppl. 1), 68 (Abstr.).

- NRC (National Research Council). 1985. Nitrogen usage in Ruminants. Ed. National Academy of Science. Washington, D.C.USA.
- NRC (National Research Council). 1996. Nutrient Requirement of Beef Cattle (7th ed.). Ed. National Academy Press. Washington, DC. USA.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th ed.). Ed. National Academy of Science. Washington, DC. USA.
- NRC (National Research Council). 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Ed. National Academy Press. Washington, DC. USA.
- Nuez Ortin, W.G. 2010. Variation and availability of nutrients in co-products from bio-ethanol production fed to ruminants. PhD Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada.
- Ojowi, M., McKinnon, J.J., Mustafa, A. and Christensen, D.A. 1997. Evaluation of wheat-based wet distillers grains for feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **77**, 447-454.
- O'Mara, F.P., Murphy, J.J. and Rath, M. 1997. The amino acid composition of protein feedstuffs before and after ruminal incubation and after subsequent passage through the intestines of dairy cows. *J. Anim. Sci.*, **75**(7), 1941-1949.
- Penner, G.B., Yu, P. and Christensen, D.A. 2009. Effect of replacing forage or concentrate with wet or dry distillers' grains on the productivity and chewing activity of dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **153**(1-2), 1-10.
- Perez-Maldonado, R.A. 2002. Characterisation of canola meal and cotton seed meal at practical inclusion levels for use in broiler and layer diets. Disponible desde Internet en: <http://www.australianoilseeds.com/_data/assets/pdf_file/0015/1275/RIRDC_report_on_protein_meal_2002.pdf>
- Petit, H.V. and Veira, D.M. 1994. Effect of post-weaning protein supplementation of beef steers fed grass silage on performance during the finishing phase, and carcass quality. *Can. J. Anim. Sci.*, **74**, 699-701.
- Piepenbrink, M.S. and Schingoethe, D.J. 1998. Ruminal degradation, amino acid composition and estimated intestinal digestibilities of four protein supplements. *J. Dairy Sci.*, **81**, 454-461.
- Rheinischen, F. 2013. Energy and nitrogen use efficiency in farm animal nutrition – opportunities and limitations for improvement. PhD Thesis. Universität Bonn. Bonn. Alemania.
- Rooke, J.A., Brookes, I.M. and Armstrong, D.G., 1983. The digestion of untreated and formaldehyde-treated soya-bean and rapeseed meals by cattle fed a basal silage diet. *J. Agric. Sci.*, **100**, 329-342.
- Sadeghi, A.A. and Shawrang, P. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and in vitro digestibility of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **127**, 45-54.
- Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Adsule, R.N. and Kadam, S.S. 1992. Rapeseeds. pp 59-96. In: *World oilseeds: chemistry, technology, and utilization*. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, NY. USA.

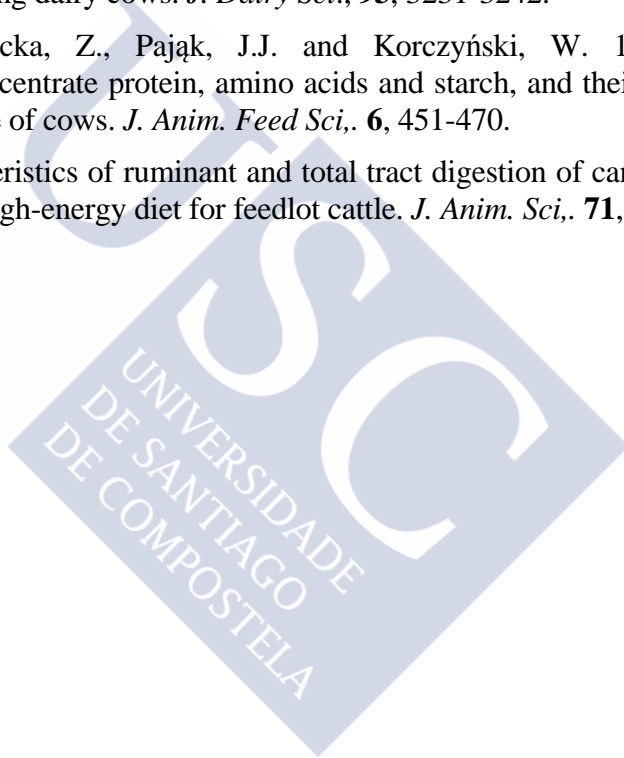
- Saunders, J.A. and Kosentrater, K.A. 2009. Survey of US fuel ethanol plants. *Bioresource Technology*, **100**, 3277-3280.
- Schingoethe, D.J., Brouk, M.J. and Birkelo, C.P. 1999. Milk production and composition from cows fed wet corn distillers grains. *J. Dairy Sci.*, **82**, 574-580
- Schingoethe, D.J. 2004. Corn co products for cattle. *Proceedings from 40th Eastern Nutrition Conference*. 11-12 May 2004, Ottawa, ON (Canada). pp 30-47.
- Schingoethe, D.J. 2006. Utilization of DDGS by cattle. *Proceedings of 27th Western Nutrition Conference*. 19-20 September 2006. Manitoba (Canada). pp 61-74
- Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R. and Garcia, A. D. 2009. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.*, **92**(12), 5802-5813.
- Schone, F., Leiterer, M., Hartung, H., Jahreis, G. and Tischendorf, F. 2001. Rapeseed glucosinolates and iodine in sows affect the milk iodine concentration and the iodine status of piglets. *Br. J. Nutr.*, **85**, 659-670.
- Schumann, W. 2005: Untersuchungen zum Glucosinolatgehalt von in Deutschland erzeugten und verarbeiteten Rapssaaten und Rapsfuttermitteln, *UFOP-Schriften Heft 27*, 1-69.
- Seneviratne, R.W., Young, M.G., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Newkirk, R.W. and Zijlstra, R.T. 2010. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.*, **88**, 2073-2083.
- Sharma, V., Rausch, K.D., Graeber, J.V., Schmidt, S.J., Buriak, P., Tumbleson, M. and Singh, V. 2009. Effect of resistant starch on hydrolysis and fermentation of corn starch for ethanol. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **160**, 800-811.
- Shurson, G.C. 2005. Issues and opportunities related to the production and marketing of ethanol by-products. *Proceedings Agricultural Outlook Forum*. 24 February 2005, Arlington, VA (USA).
- Slominski, B.A., Campbell, L.D. and Guenter, W. 1994. Carbohydrates and dietary fibre components of yellow and brown seeded canola. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 704-707.
- Slominski, B.A., Jia, W., Rogiewicz, A., Nyachoti, C.M. and Hickling, D. 2012. Low-fiber canola. Part 1. Chemical and nutritive composition of the meal. *J. Agric. Food Chem.*, **60**, 12225-12230.
- Spiekers, H. and Südekum, K.H. 2004. Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot beim Wiederkäuer. UFOP-Praxisinformation. Disponible desde Internet en: <http://www.ufop.de/downloads/RZ_Praxisinfo_Raps_100604.pdf>
- Spiehs, M.J., Whitney, M.H. and Shurson, G.C. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.*, **80**, 2639-2645.
- Spiehs, M.J. and Varel, V.H. 2009. Nutrient excretion and odorant production in manure from cattle fed corn wet distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.*, **87**(9), 2977-2984.

- Spragg, J.C. and Mailer, R.J. 2007. Canola meal value chain quality improvement: A final report prepared for AOF and CRC. Project code: 1B-103-0506. Disponible desde Internet en: <http://www.porkcrc.com.au/Final_Report_1B-103.pdf> [con acceso el 9 de enero de 2011]
- Stanford, K., McAllister, T.A., Lees, B.M., Xu Z.J. and Cheng, K.J. 1996. Comparison of sweet white lupin seed, canola meal and soybean meal as protein supplements for lambs. *Can. J. Anim. Sci.*, **76**, 215-219.
- Stanford, K., McAllister, T.A., Xu Z.J., Pickard M. and Cheng, K.J. 1995. Comparison of lignosulfonate-treated canola meal and soybean meal as rumen undegradable protein supplements for lambs. *Can. J. Anim. Sc.*, **75**, 371-377.
- Steingass, H., Kneer, G., Essig-Kozó, C. and Koch, C. 2010. Aktuelle Untersuchungen zum Proteinwert von Rapsnebenprodukten und deren Einsatz in Rationen für Milchkühe. In *19th International Science Symposium on Nutrition of Domestic Animals 'Zadravec-Erjavec Days'*. Radenci, Slovenia. Pp. 177-187.
- Stern, M. D., Varga, G.A., Clark, J.H., Firkins, J.L., Huber, T.H. and Palmquist, D.L. 1994. Evaluation of chemical and physical properties of feeds that affect protein metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.*, **77**, 2762.
- Stern, M. D., Calsamiglia, S. and Endres, M. I. 1995. Estimates of ruminal degradability and post ruminal digestibility of proteins. *Proceedings Four State Applied Nutrition and Management Conference*. La Crosse, WI, USA.
- Stevnebo, A., Sahlstrom, S. and Svihus, B. 2006. Starch structure and degree of starch hydrolysis of small and large starch granules from barley varieties with varying amylose content. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **130**, 23-28.
- Stoll, L.C., McKinnon, J.J. and Shand, P.J. 2010. A comparison of wheat and corn DDGS on quality of beef longissimus. *Abstract: Conf. Am. Meat Sci. Assoc.* 20-23 June, Lubbock, Texas (USA).
- Súdekum, K.H, Nibbe, D., Lebzien, P. Steingäß, H. and Soiekers, H. 2003. Comparative evaluation of the protein values of soybean and rapeseed meals by *in vivo*, *in situ* and laboratory methods. In: Towards enhanced value of cruciferous oilseed crops by optimal production and use of high quality seed components. *Proceedings 11th International Rapeseed Congress*. 6-10 July 2003, Copenhagen (Denmark). pp. 1241-1243.
- Swanson, K. 2010. Effects of feeding corn distillers' grains on animal health, performance and carcass value. Beef Cattle Research Council Research Review. Canadian Cattlemen's Association. Disponible desde Internet en: <<https://www.cattle.ca/research>>
- Tedeschi, L.O., Kononoff, P.J., Karges, K. and Gibson, M.L. 2009. Effects of chemical composition variation on the dynamics of ruminal fermentation and biological value of corn milling (co)products. *J. Dairy Sci.*, **92**(1), 401-413.
- Thomas, P. 2005. Review of University of Alberta Canola Breeding Program. Disponible desde Internet en: <<http://www.acidf.ca/files/focuscanola.pdf>>
- Todorov, N., Krachunov, I., Djuvinov, D. and Alexandrov, A. 2007. Handbook of animal feeding. Ed. Matkom, Sofia. Bulgaria.

- Torija, M. J., Beltran, G., Novo, M., Poblet, M., Guillamon, J. M., Mas, A. and Rozes, N. 2003. Effects of fermentation temperature and *Saccharomyces* species on the cell fatty acid composition and presence of volatile compounds in wine. *Int. J. Food Microbiol.*, **85**, 127-136.
- Trindade Neto, M. A., Opepaju, F.O., Slominski, B.A. and Nyachoti, C.M. 2012. Ileal amino acid digestibility in canola meals from yellow- and black-seeded *Brassica napus* and *Brassica juncea* fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, **90**, 3477-3484.
- Tripathi, M.K., Agrawal, I.S., Sharma, S.D. and Mishra, D.P., 2001a. Effect of untreated, HCl treated or copper and iodine supplemented high glucosinolate mustard (*Brassica juncea*) meal on nutrient utilisation, liver enzymes, thyroid hormones and growth of calves. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **92**, 73-85.
- Tripathi, M.K., Mishra, A.S., Misra, A.K., Prasad, R., Mondal, D. and Jakhmola, R.C., 2003. Effect of graded levels of high glucosinolate mustard meal (*Brassica juncea*) meal inclusion on nutrient utilisation, growth performance, organ weight and carcass composition of growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, **11**, 211-226.
- Tripathi, M.K., Mishra, A.S. and Misra, A.K., 2007. Glucosinolates in animal nutrition: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **132**, 1-27.
- Tuori, M. 1992. Rapeseed meal as a supplementary protein for dairy cows on grass-silage based diet, with the emphasis on the Nordic AAT-PBV feed protein evaluation system. *Agric. Sci. Finl.*, **1**, 367-439.
- Unger, E.H. 2011. Processing. pp. 163-188. In: *Canola: Chemistry, production, processing, and utilization*. Daun, J.K., Eskin, N.A.M. and Hickling, D., Eds. Ed. AOCS Press. Urbana, IL. USA.
- Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle, (ed.) 1997. DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7th Ed. DLG-Verlag, Frankfurt/Main. Germany.
- University of Saskatchewan. 2009. Nutrient Profile Database. Disponible desde Internet en: <http://www.ddgs.usask.ca/portal/DesktopDefault.aspx?tabindex=0&tabid=206>
- Urdl, M., Gruber, L. Häusler, J., Maierhofer, G. and Schauer, A. 2006. Influence of distillers grains with solubles (Starprot) in dairy cow feeding. *Slovak J. Anim. Sci.*, **39**, 43-50.
- U.S. Grains Council. 2007b. Use of DDGS in beef diets. Disponible desde Internet en: <http://www.grains.org/ddgs-information/217-ddgs-user-handbook>
- USDA. 2013a. Oilseeds: World markets and trade. Disponible desde Internet en: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>
- USDA. 2013b. Soybeans and oil crops: canola. Disponible desde Internet en: <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-oil-crops/canola.aspx#.UaTNlsqcFjc>
- Vander Pol, K., Luebke, J., Crawford, M.K., Erickson, G.I., and Klopfenstein, T.J. 2009. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *J Anim Sci.*, **87**(2): 639-652.

- Van De Kerckhove, A. and Lardner, H. 2008. Effects of supplementing beef cows grazing crop residue with dried distillers grain. WBDC Fact Sheet. 2008-05. PAMI. Humboldt SK.
- Van Soest, P.J. 1989. On the digestibility of bound N in distillers grains: a reanalysis. *In Proceedings of Cornell Nutrition Conference Feed Manufacturers*. Cornell University, Ithaca, NY, USA. pp. 127-135.
- Van Soest, P.J. and Mason, V.C. 1991. The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **32**, 45-53.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Cornell University Press. Ithaca, NY. USA.
- Vanhatalo, A., Aronen, I. and Varvikko, T. 1995. Intestinal nitrogen digestibility of heat-moisture treated rapeseed meals as assessed by the mobile-bag method in cows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **55**, 139-152.
- Vincent, I.C., Hill, R. and Williams, H.L. 1988. Rapeseed meal in the diet of pubertal heifers during early pregnancy. *Anim. Prod.*, **47**, 39-44.
- Voigt, J., Piatkowski, B., Schönhusen, U., Kreienbring, F., Krawielitzki R. and Nagel, S. 1990. Studies on the evaluation of feed protein for ruminants. 1. Passage of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows fed different protein and carbohydrate sources. *Arch. Anim. Nutr.*, **40**, 245-257.
- Waldern, D.E., 1973. Rapeseed meal versus soybean meal as the only protein supplement for lactating cows fed corn silage roughage. *Can. J. Anim. Sci.*, **53**, 107-112.
- Walter, L.J. 2010. Comparison of wheat or corn dried distillers grains with solubles on performance, carcass characteristics, rumen fermentation parameters and diet digestibility of feedlot cattle. MSc Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada.
- Ward, A.K., Classen, H.L. and Buchanan, F.C. 2009. Fishy-egg tainting is recessively inherited when brown-shelled layers are fed canola meal. *Poult. Sci.*, **88**, 714-721.
- Warnick, R.E. and Anderson, J.O. 1968. Limiting essential amino acids in soybean meal for growing chickens and effects of heat upon availability of essential amino acids. *Poult. Sci.*, **47**, 281-287.
- Waters, C.J., Kitcherside, M.A. and Webster, A.J.F. 1992. Problems associated with estimating the digestibility of undegraded dietary nitrogen from acid detergent insoluble nitrogen. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **39**, 279-291.
- Weber, M.: Futtermittel aus Raps – was sagen die Inhaltsstoffe?, *UFOP-Information Winterrapsausaat* 2008, 6-7. Disponible desde internet en: http://www.ufop.de/files/9113/3940/7603/Rapeseed_meal_UFOP_OVID.pdf
- Weiss, W.P., Erikson, D.O., Erikson, G.M. and Fisher, G.R. 1989. Barley distillers grains as a protein supplement for dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **72**, 980-987.
- Westreicher, E.K. 2013. Variability of the protein and energy values of european dried distillers'grains with solubles for ruminants. PhD Thesis. Universidad de Hohenheim. Hohenheim. Alemania.

- Woods, V.B., Moloney, A.P. and O'Mara, F.P. 2003. The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals. Part II. In situ ruminal degradability of crude protein. *Anim. Feed Sci. and Technol.*, **110**, 131-143.
- Yildiz, E. and Todorov, N. 2014. The comparison of the main protein sources for dairy cows. A review. *Bulg. J. Agric. Sci.*, **20**(2), 428-446.
- Yu, Y. and Thomas, J.W. 1976. Estimation of the extent of heat damage in alfalfa haylage by laboratory measurements. *J. Anim. Sci.*, **42**, 766-774.
- Zhang, S.Z., Penner, G.B., Abdelqader, M. and Oba, M. 2010. Effects of feeding alfalfa hay on chewing, rumen pH, and milk fat concentration of dairy cows fed wheat DDGS as a partial substitute for barley silage. *J. Dairy Sci.*, **93**, 3243-3252.
- Zhang, S.Z., Penner, G.B., Yang, W.Z. and Oba, M. 2010. Effects of partially replacing barley silage or barley grain with DDGS on rumen fermentation and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **93**, 3231-3242.
- Żebrowska, T., Długolecka, Z., Pająk, J.J. and Korczyński, W. 1997. Rumen degradability of concentrate protein, amino acids and starch, and their digestibility in the small intestine of cows. *J. Anim. Feed Sci.*, **6**, 451-470.
- Zinn, R.A. 1993. Characteristics of ruminant and total tract digestion of canola meal and soybean meal in a high-energy diet for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, **71**, 796-801.





3. EVALUACIÓN DE LA TORTA DE COLZA, DDGS DE MAÍZ Y DDGS DE TRIGO COMO FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA EN VACAS LECHERAS.

3.1. INTRODUCCIÓN

Los DDGS son materias primas procedentes de la fabricación de etanol a partir de granos de cereales, sobre todo maíz y trigo y representan una materia prima de notable interés en alimentación animal debido a su contenido en proteína y a la creciente disponibilidad en el mercado europeo en función del cumplimiento de las directrices comunitarias sobre energías renovables y biocarburantes. Otro tanto sucede con la TC, materia prima procedente de la fabricación de biodiésel a partir de semillas de esta planta.

Las características nutricionales de estos compuestos proteicos los sitúan como alternativas a la TS para integrar las raciones del ganado vacuno lechero. Sin embargo, la capacidad de estas materias primas de sustituir a la soja varía considerablemente debido no sólo a las diferencias entre las materias primas de partida (cereales y granos de colza) sino a la variabilidad existente en el sistema de procesado sufrido por el material original. En el caso de los DDGS, la adición de solubles a los residuos de granos secos supone una fuente de variación adicional en el valor nutricional del producto resultante (DDGS). La mayor parte de las investigaciones sobre el valor nutritivo de los DDGS proceden de USA y se refieren sobre todo al maíz como materia prima. En Canadá existen diversos estudios con DDGS de trigo y la torta de canola.

Es conocida la utilidad de la TC libre de compuestos antinutricionales para alimentar a las vacas de leche por el alto valor biológico de su proteína, por lo que puede sustituir parcialmente a la TS como ingrediente. También hay evidencias de que los DDGS de maíz pueden formar parte de las raciones del ganado vacuno lechero hasta un 15-20% del total de la dieta del ganado, pero falta información acerca de la utilidad de los DDGS de trigo, a este respecto.

El objetivo es comprobar que los DDGS de trigo, así como los DDGS de maíz y la TC pueden emplearse en vacas lecheras con una producción aproximada de 8.000 kg sin que se alteren los parámetros zootécnicos. La hipótesis específica es que la TS se puede sustituir parcial o totalmente por estas fuentes proteicas procedentes de los biocombustibles sin que afecte de forma significativa a los rendimientos zootécnicos ni

a la composición de la leche. Se comparan en el presente estudio los DDGS de trigo, DDGS de maíz y la TC con la TS, que constituye el tratamiento control.

Para evaluar la hipótesis citada, se realizó un ensayo de alimentación con vacas lecheras de producción moderada en fase decreciente de lactación en el que se evaluaron cuatro dietas completas a base de ensilado de maíz, ensilado de hierba y concentrado en el que se varió la composición de la fuente proteica del concentrado con las materias primas citadas alternativas a la TS. Se estudió el efecto de los tratamientos sobre la ingestión voluntaria de MS, la producción y la composición fisicoquímica de la leche. Posteriormente se realizó la determinación de la digestibilidad *in vivo* con ovinos de las cuatro dietas completas y la degradabilidad *in vivo*, con vacas canuladas, de las cuatro materias primas proteicas y los cuatro tipos de concentrado empleados en el ensayo de alimentación.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Animales y dietas

El estudio experimental se desarrolló durante el año 2010 en las instalaciones del CIAM ubicado en Abegondo, provincia de A Coruña, en el marco del proyecto EMANA financiado por el CDTI.

Se utilizaron 24 vacas lecheras de raza Holstein del rebaño experimental del CIAM, de un potencial productivo moderado (8000 kg de promedio por lactación), con partos agrupados a la salida del invierno, multíparas, en fase decreciente de lactación, que fueron distribuidos en cuatro grupos homogéneos en cuanto a producción de leche, PV y fecha de parto. En cada grupo se ubicaron seis vacas de las cuáles cuatro eran multíparas y dos primíparas, con valores medios de $31,9 \pm 4,3$ kg de leche/día, 576 ± 58 kg de PV y 119 ± 23 días en leche al comienzo del ensayo.

A cada uno de los grupos se le asignó al azar un tratamiento consistente en una ración completa mezclada cuyas proporciones, en base seca, fueron: ensilado de maíz (45%), ensilado de hierba (20%) y un concentrado (35%) de cuatro tipos diferentes en cuanto a la materia prima proteica principal utilizada. La composición de cada uno de los concentrados integrantes de las raciones completas de los cuatro grupos experimentales puede verse en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición de los concentrados (%) integrantes de las raciones completas de los cuatro grupos experimentales de vacas de leche

Componentes	TC	DDGSMAÍZ	DDGS TRIGO	TS
TC	33,0	-	-	-
DDGS-trigo	-	-	34,1	-
DDGS-maíz	-	43,0	-	-
TS 44	5,4	-	3,3	25,7
TG integral	-	10,0	1,9	-
Maíz	11,0	8,0	10,0	10,0
Cebada	25,0	15,3	23,6	23,1
Trigo	-	-	-	1,0
Cascarilla soja	11,5	3,2	13,9	20,0
Melaza remolacha	1,5	1,5	1,5	1,5
Palmiste expeller	5,0	5,0	5,0	5,0
Aceite palma	1,8	-	0,5	0,9
Salvado de trigo	-	7,5	-	6,4
Bicarbonato sódico	2,20	2,20	2,20	2,20
Carbonato cálcico	2,20	2,7	2,75	2,45
Fosfato monocálcico	-	-	0,05	0,50
Sal	1	1	1	1
Óxido de magnesio	0,30	0,30	0,30	0,30
Alimet®	0,36	0,38	0,39	0,40
Prémix vitamínico mineral	0,40	0,40	0,40	0,40

Alimet®: Análogo hidroxilado de metionina de NOVUS.

Corrector: Vitamina A: 12.000 UI; Vitamina D3: 3.000 UI; Vitamina E (alfa tocoferol): 50 UI; Hierro: 100 ppm; cobre: 25 ppm; zinc: 112 ppm; manganeso: 115 ppm; selenio: 0,8 ppm; yodo: 1,54 ppm; cobalto: 0,3 ppm.

Las raciones se formularon siguiendo las recomendaciones de INRA, (2007) para vacas de leche, de tal modo que las cuatro raciones se calcularon con el mismo nivel de energía y la misma cantidad de proteína digestible en el intestino (PDI), así como para la metionina digestible en el intestino (MET DI), el contenido en almidón, niveles de

fibra (FND y FAD) y los minerales Ca y P. Los concentrados fueron facilitados por la empresa NUTERFEED SAU (S. Pedro de Nos-Oleiros-A Coruña). Los niveles resultantes de inclusión en la ración completa de las fuentes proteicas estudiadas fueron (en porcentaje de base seca) los siguientes: TC: 11,4%; DDGS de maíz: 14,8%; DDGS de trigo: 11,7% y TS: 11,7%. Los porcentajes de sustitución de la proteína de soja por las materias primas alternativas en las diferentes dietas completas fueron de 83,8, 86,9 y 85,2% para la TC, DDGS de maíz y DDGS de trigo, respectivamente.

3.2.2 Ensayo de alimentación

El diseño experimental seguido para el ensayo de alimentación fue el de cuadrado latino completo 4x4, con períodos de cuatro semanas cada uno, precedidos por un período de adaptación de tres semanas para adaptar los animales progresivamente al consumo de las dietas asignadas. Las vacas fueron alojadas en una nave de tipo estabulación libre con cubículos individuales que disponía de un sistema de control individual de alimentación (puertas electrónicas Calan-Broadbent, American Calan, Northwood, NH, USA). A lo largo de todo el experimento se prepararon diariamente las cuatro dietas en un carro mezclador de tornillos horizontales (Marca SEKO, modelo SAM4 400/50) para lo cual se efectuaba en primer lugar la premezcla de los ensilados de maíz y de hierba, añadiendo posteriormente el concentrado correspondiente a cada tratamiento. La ración se ofreció *ad libitum*, permitiendo un nivel de rechazo mínimo del 10% de la cantidad ofertada. Los animales fueron pesados al inicio y al final de cada período, dos días consecutivos y antes del ordeño de la mañana.

Las vacas se ordeñaron dos veces al día, a las 8:00 h y a las 19:00 h y se registró la producción diaria de leche a lo largo de todo el ensayo. En la última semana de cada período se tomaron muestras de leche durante tres días (martes, miércoles y jueves), en seis ordeños consecutivos de mañana y tarde. Estas muestras fueron conservadas en nevera y, dentro de las 24 h siguientes a su toma, se trasladaron al LIGAL⁵ donde se determinó su composición físico-química, que incluyó el test de urea en leche. A fin de comparar adecuadamente los valores de producción de leche registrados en los diferentes tratamientos, la producción diaria se corrigió por su contenido en grasa (LCG), estandarizando al 3,5% de materia grasa (MG) y por su contenido en grasa y proteína (LCGP), estandarizando al 3,5 % MG (%) y al 3.5 % PB (%).

Se utilizaron las siguientes expresiones:

$$1) \text{ kg Leche}_{3,5\% \text{ MG}} = 0,4324 \times Y + 16,216 (Y \times \text{MG} \times 0,01)$$

⁵ LIGAL: Laboratorio Interprofesional Galego de Análise do Leite sito en Mabegondo (LIGAL, Abegondo- La Coruña)

2) kg Leche $3,5\% \text{MG}$ y $3,5\% \text{PB} = 0,323 \times Y + 12,82 (Y \times \text{MG} \times 0,01) + 7,13 (Y \times \text{PB} \times 0,01)$, donde Y =kg de leche; MG =% de grasa y PB = % de proteína en la leche a estandarizar.

Se determinó el contenido de MS de la ración completa ofrecida y rechazada durante cinco días (de lunes a viernes) de las dos últimas semanas de cada período del ensayo a fin de determinar el consumo voluntario de MS, si bien en el análisis estadístico sólo se utilizaron los resultados correspondientes a la última semana de cada período. Durante tres días consecutivos de la última semana de cada período (martes a jueves) se tomaron muestras de los ensilados de maíz y de hierba y de los concentrados empleados en la confección de las mezclas ofrecidas a cada grupo de animales. En este período se tomó una muestra de 150 kg de cada una de las cuatro raciones completas (600 kg en el total del ensayo) que se conservó congelada (repartida en sacos de 15-20 kg) a -27°C para la determinación de la digestibilidad *in vivo*.

3.2.3 Determinación de la digestibilidad *in vivo* de las raciones completas

Se realizaron utilizando 20 ovinos machos castrados de más de dos años de edad, de raza gallega, alojados en jaulas metabólicas individuales dotadas con separadores de heces y orina. El diseño de las dichas jaulas, fue realizado en el CIAM por el investigador J. Castro-González, y responde a los criterios de minimizar el estrés de los animales durante la realización de las evaluaciones y facilitar el trabajo de los operadores durante la alimentación y toma de muestras. Los animales disponían de agua y de un corrector vitamínico-mineral a libre disposición. Las dietas se ofrecieron *ad libitum*, permitiéndose un 10% de rechazo, en una única comida, a primera hora de la mañana. La evaluación se inició con la adaptación de los animales a las dietas completas manejados en grupo durante siete días de duración, seguido por un período preexperimental de adaptación de los animales, ya instalados en las jaulas individuales, donde se ajustó el consumo diario de alimento al nivel de rehusado fijado. El período de control fue de once días continuados durante los cuales se registró el peso diario, por animal, del alimento ofrecido, rechazado y las heces producidas. Durante este período se tomó diariamente una alícuota del 10% del alimento ofrecido y rechazado y el 20% de las heces producidas para cada animal. Estas muestras se acumularon congeladas a -27°C hasta su análisis.

3.2.4 Determinación de la degradabilidad ruminal

Se determinó la degradabilidad ruminal de la MS, MO y del N de una muestra de cada una de las materias primas utilizadas para confeccionar los concentrados, facilitadas por la empresa a comienzos del ensayo, así como de una muestra de cada uno

de los cuatro tipos de concentrado, acumulados a lo largo del experimento. Las muestras fueron molidas con criba de 3 mm en molino Christy&Norris. Se utilizaron bolsas de nylon (ANKOM[®], tamaño de poro $50\pm 15\mu\text{m}$), con una cantidad media de 14,7 mg de muestra por cm^2 de bolsa y tiempos de incubación de 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 y 96 horas, durante dos tandas consecutivas, en la panza de tres vacas frisonas secas a las que se les instaló una cánula ruminal. La alimentación de los animales fue a un nivel próximo a mantenimiento, aportando 6 kg de MS por vaca y día de la ración completa correspondiente al tratamiento con TS como fuente proteica, en dos comidas a las 10 y 18 h. Las bolsas, suspendidas del tapón de la cánula por un hilo de nylon de 35 cm de longitud, estaban lastradas con un peso de acero inoxidable de 400 g. Una vez transcurrido el tiempo fijado de incubación, las bolsas se sumergían en agua con hielo durante 10 minutos y posteriormente lavadas en lavadora automática con agua fría durante 30 minutos, seguido de un centrifugado suave. Las bolsas correspondientes a la hora cero pasaron directamente a la lavadora. Una vez lavadas, las bolsas permanecieron congeladas a $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta ser secadas al final de cada tanda, en estufa de aire forzado a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, seguido de pesada con precisión 0,1 mg tras pasar por un desecador. Utilizando procedimientos de regresión no lineal (PROC NLIN, SAS Institute, 2000) se realizó el ajuste de los datos de porcentaje de desaparición (p) de MS, MO y N de las bolsas en cada hora de incubación, siguiendo el modelo $p=A+B \times (1-e^{-ct})$ (Ørskov y McDonald, 1979). Se obtuvieron los parámetros representativos de la fracción rápidamente degradable (A), lentamente degradable (B) y la velocidad de degradación en el rumen (c) para cada muestra, vaca y tanda. Posteriormente se calculó la degradabilidad potencial (DP) como $DP=(A+B)$, y la degradabilidad teórica (DT) según la expresión $DT=A+[(B \times c)/(c+kp)]$, para una tasa de paso $kp=0,06\text{ h}^{-1}$.

3.2.5 Análisis químico de las muestras

Las muestra de alimentos húmedos fueron secadas en estufa de aire forzado Unitherm, a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 16 horas, determinándose el contenido en MS por gravimetría y posterior molido con criba de 1 mm en molino de martillos Christy&Norris. Todas las determinaciones analíticas se realizaron por duplicado y los resultados se expresaron en porcentaje sobre MS corregida por la humedad residual. El contenido en humedad residual y cenizas (CZ) de las muestras secas y molidas se realiza mediante desecación a $102\text{ }^{\circ}\text{C}$ y posterior calcinación secuencial a $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un analizador termogravimétrico MAC500 de Leco (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA), siendo expresado el valor de MO como $100-CZ$.

La determinación de N total en muestras secas y molidas se realiza mediante digestión micro Kjeldahl por ebullición con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno,

seguida de la determinación colorimétrica del ión amonio, según el método descrito por Castro et al. (1990) adaptado al autoanalizador de flujo continuo AAIII (Bran-Luebbe, Inc., Technicon Industrial Systems Corp., Tarrytown, NY, USA). El contenido en PB se calculó como $N \times 6,25$. Las determinaciones de fibra neutro detergente (FND) se realizan siguiendo el procedimiento propuesto por Van Soest y Robertson (1991), y las de FAD y celulosa según Goering y Van Soest (1970). En la determinación de FND se utilizó α -amilasa termoestable (sigma A3306) añadida a la solución detergente. Estos procedimientos se realizaron en un digestor Fibertec System modelo 1020 de la marca Foss Tecator. La determinación de LAD se realizó sobre el residuo insoluble en detergente ácido por el método de lignina-sulfúrico de Goering y Van Soest (1970). En un duplicado de las muestras de materias primas y piensos se determinó el contenido de FADIN a partir de la digestión Kjeldhal del residuo de la determinación de la FAD y posterior determinación colorimétrica del ión amonio en el autoanalizador. El contenido en carbohidratos no estructurales (CNET) y carbohidratos solubles en agua (CSA) se realizó según el método descrito por Castro (2001) mediante digestión ácida de las muestras, precedida de un tratamiento con α -amilasa Sigma A-3306 y glucosidasa Sigma A-9913 en el primer caso y posterior determinación colorimétrica en un anautoanalizador de flujo continuo AAIII. El contenido en almidón (ALM) se calculó como la diferencia entre CNET y CSA. El contenido en energía bruta (EB) de las muestras se determinó en un calorímetro isoperibólico PARR-1281EF (Parr Instruments Company, Moline, IL, USA). El análisis de EE se realizó por el método oficial AOAC para forrajes, cereales-grano y alimentos animales en general, utilizando un equipo SoxtecTM 2050 de FOSS (FOSS Analytical AB, Högenäs, Suecia). Los análisis de calidad fermentativa de ensilados se realizaron según los métodos de rutina del Laboratorio Agrario e Fitopatológico de Galicia (Mabegondo-Abegondo-A Coruña).

La determinación de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DoTT) de las muestras de alimentos se realizó mediante el método de Tilley-Terry modificado por Alexander y McGowan (1969), utilizando como animales donantes dos vacas secas canuladas en rumen, alimentadas a nivel de mantenimiento con una dieta completa correspondiente al tratamiento de TS. El análisis de grasa, proteína y lactosa se realizó según los protocolos del Laboratorio Interprofesional Gallego de Análisis de la Leche (LIGAL), por espectroscopía infrarroja (Milkoscan FT2 de FOSS), según el procedimiento interno PE/LIGAL/34 del citado laboratorio.

3.2.6 Análisis estadístico

Para el ensayo de producción se utilizó el modelo $Y = \mu + \alpha_i T + \beta_j P + X_i + \varepsilon$, donde X_i representa a las covariables utilizadas en el análisis. El tipo de dieta (T) se considerará

un factor fijo, mientras que el período (P) se consideró como aleatorio. Para el ensayo de digestibilidad *in vivo* se utilizó un modelo completamente aleatorizado, con cinco repeticiones de tipo $Y = \mu + \alpha_i T + \varepsilon$, donde el tipo de dieta (T) es un factor fijo. Para el ensayo de degradabilidad ruminal *in situ* se utilizó el modelo $Y = \mu + \alpha_i T + \beta_j S + (\alpha\beta)_{ij} T \times S + \gamma_k V + (\alpha\gamma)_{ik} T \times V + \varepsilon$ donde T es un factor fijo y la semana de incubación (S) y la vaca (V) son factores aleatorios. El procedimiento utilizado en los análisis fue PROC GLM y PROC MIXED de SAS 9.2 (SAS Institute, 2002-2008).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Composición de los alimentos

3.3.1.1.- Materias primas

A lo largo del ensayo se recibieron un total de cuatro muestras por cada materia prima evaluada y se realizaron las analíticas en el laboratorio del propio CIAM, cuyos valores medios se muestran en la tabla 3.2. El mayor contenido en PB (%MS) correspondió, como estaba previsto, a la TS (51,27%) seguido de la TC (35,9%), los DDGS de trigo (33,4%) y por último los DDGS de maíz (26,4%). El mayor contenido en FND (%MS) fue para los DDGS de trigo y maíz (50,8 y 44,6%, respectivamente) comparados con la TC (37,0%) y de TS (18,7%). La TC mostró el mayor contenido en lignocelulosa, con valores de FAD, CEL y LAD superiores a los DDGS y la TS. El valor de FADIN de los DDGS de maíz ascendió al 16,6 % del N total y fue claramente superior al del resto de las materias primas evaluadas (4,5, 6,1 y 7,2 % N total para TS, TC y DDGS de trigo, respectivamente). La digestibilidad *in vitro* de la MO más elevada correspondió a la TS (85,0%) seguida de la TC (72,8%) y DDGS de trigo (71,3%), mostrando los DDGS de maíz una digestibilidad marcadamente inferior al resto (63,2%).

Tabla 3.2. Composición química media y rangos de variación de las materias primas proteicas evaluadas en el experimento.

TC					
	Media	sd	cv	max	min
MS (%)	90,24	0,51	0,56	90,73	89,57
MO (% MS)	92,58	0,34	0,36	93,07	92,14
PB (% MS)	35,91	1,96	5,45	39,27	34,47
FND (% MS)	37,06	1,78	4,81	39,50	35,14
FAD (% MS)	23,88	0,94	3,95	25,31	22,87
CEL (% MS)	13,34	0,78	5,86	14,44	12,26
LAD (% MS)	10,84	0,36	3,33	11,26	10,39
FADIN (% N)	6,13	0,71	11,52	6,80	5,02
CNET (%MS)	10,82	0,50	4,66	11,37	10,12
CSA (% MS)	10,42	0,28	2,67	10,80	10,05
ALM (% MS)	0,40	0,36	91,04	0,84	0,04
DoTT (%)	72,83	1,09	1,49	73,89	71,37
TS					
	Media	sd	cv	max	min
MS (%)	89,30	0,07	0,08	89,37	89,24
MO (% MS)	92,96	0,51	0,55	93,53	92,56
PB (% MS)	51,27	3,42	6,67	54,19	47,51
FND (% MS)	18,72	4,39	23,46	23,60	15,09
FAD (% MS)	11,52	1,40	12,18	13,13	10,57
CEL (% MS)	9,83	2,34	23,81	11,89	7,28
LAD (% MS)	1,63	1,30	79,63	3,12	0,87
FADIN (% N)	4,58	1,51	33,08	6,04	3,02
CNET (%MS)	12,09	0,44	3,61	12,46	11,61
CSA (% MS)	10,11	0,49	4,84	10,65	9,69
ALM (% MS)	1,99	0,21	10,75	2,23	1,81
DoTT (%)	85,07	1,73	2,04	87,06	83,91
DDGS de MAIZ					
	Media	sd	cv	max	min
MS (%)	89,96	0,90	1,00	91,48	89,22
MO (% MS)	95,02	0,20	0,21	95,21	94,73
PB (% MS)	26,49	0,96	3,61	27,70	25,38
FND (% MS)	44,69	1,37	3,06	46,66	43,33
FAD (% MS)	13,73	1,31	9,57	16,06	12,84
CEL (% MS)	10,54	0,47	4,43	11,35	10,15
LAD (% MS)	4,08	0,93	22,81	5,22	3,32
FADIN (% N)	16,63	2,88	17,32	19,87	12,80
CNET (%MS)	6,59	1,62	24,64	8,84	4,73
CSA (% MS)	3,29	0,26	7,85	3,62	3,03
ALM (% MS)	3,29	1,68	51,04	5,77	1,70
DoTT (%)	63,24	1,68	2,65	64,99	61,40
DDGS de TRIGO					
	Media	sd	cv	max	min
MS (%)	92,18	0,32	0,35	92,53	91,75
MO (% MS)	95,60	0,64	0,67	96,06	94,48
PB (% MS)	33,45	1,43	4,28	35,37	31,73
FND (% MS)	47,78	5,18	10,84	53,17	42,84
FAD (% MS)	11,55	0,90	7,80	12,82	10,82
CEL (% MS)	8,06	0,51	6,30	8,84	7,47
LAD (% MS)	3,78	0,28	7,37	4,03	3,31
FADIN (% N)	7,28	2,63	36,17	10,60	4,59
CNET (%MS)	6,46	0,53	8,28	7,07	5,64
CSA (% MS)	4,94	0,79	15,91	5,73	3,84
ALM (% MS)	1,52	0,99	65,22	3,23	0,76
DoTT (%)	71,31	1,04	1,46	72,53	69,87

sd: desviación estándar de la media; cv: coeficiente de variación; max: valor máximo; min: valor mínimo

3.3.1.2.- Concentrados empleados en el ensayo de alimentación con vacas lecheras

Los valores medios de las muestras de pienso correspondientes a cada tratamiento que fueron recogidas a lo largo del ensayo de alimentación con vacas de leche y analizadas en el propio laboratorio del CIAM se indican en la tabla 3.3. Su composición refleja, básicamente, las características de las materias primas aunque atenuadas por la formulación elegida. Los contenidos medios (en %MS) oscilaron, para PB entre 18,2 y 20,6%, para el almidón 20,8 y 27,5% y para la FND entre 29,7 y 37,8%. El pienso con DDGS de maíz mostró el mayor contenido de FADIN (8,5% N total) y la menor digestibilidad de la MO *in vitro* (75,2%), como ocurrió con el propio DDGS de maíz.

En la confección de las raciones de los diferentes tratamientos, la sustitución en los concentrados de la proteína de la TS por la de las materias primas proteicas alternativas fue de 83,8, 86,9 y 85,9% en los tratamientos con TC, DDGS de maíz y DDGS de trigo, respectivamente.

Tabla 3.3. Composición química media y rangos de variación de los concentrados utilizados en la alimentación de las vacas de leche a lo largo del experimento.

PIENSO TC						PIENSO DDGS de MAIZ					
	Media	Sd	cv	max	min		Media	sd	cv	max	Min
MS (%)	90,87	0,45	0,50	91,51	90,51	MS (%)	91,53	0,45	0,49	92,16	91,12
MO (% MS)	90,63	0,43	0,48	91,03	90,03	MO (% MS)	89,65	0,69	0,77	90,29	88,69
PB (% MS)	20,64	0,85	4,11	21,35	19,45	PB (% MS)	18,41	0,97	5,25	19,75	17,49
FND (% MS)	32,22	0,77	2,40	33,27	31,44	FND (% MS)	37,82	1,88	4,98	39,80	35,29
FAD (% MS)	15,77	0,34	2,17	16,21	15,38	FAD (% MS)	15,51	0,67	4,33	16,46	15,03
CEL (% MS)	11,38	0,07	0,59	11,47	11,33	CEL (% MS)	12,38	0,32	2,57	12,81	12,06
LAD (% MS)	4,61	0,40	8,58	5,16	4,26	LAD (% MS)	3,25	0,30	9,25	3,67	3,02
FADIN (% N)	3,68	0,83	22,44	4,76	2,75	FADIN (% N)	7,97	0,66	8,26	8,53	7,05
CNET (%MS)	29,66	0,90	3,03	30,90	28,79	CNET (%MS)	24,54	0,22	0,89	24,75	24,24
CSA (% MS)	6,13	0,61	9,90	6,93	5,46	CSA (% MS)	3,72	0,28	7,66	4,12	3,46
ALM (% MS)	23,53	0,31	1,31	23,97	23,30	ALM (% MS)	20,82	0,27	1,30	21,16	20,51
DoTT (%)	79,98	0,06	0,07	80,02	79,90	DoTT (%)	75,27	0,20	0,26	75,54	75,07

PIENSO TS						PIENSO DDGS de TRIGO					
	Media	Sd	cv	max	min		Media	sd	cv	max	min
MS (%)	90,54	0,43	0,48	90,98	89,95	MS (%)	91,13	0,48	0,53	91,77	90,60
MO (% MS)	90,49	0,35	0,39	90,94	90,07	MO (% MS)	90,79	0,11	0,13	90,93	90,65
PB (% MS)	18,24	0,43	2,38	18,76	17,70	PB (% MS)	20,04	0,20	1,00	20,31	19,83
FND (% MS)	29,75	0,81	2,74	30,81	28,84	FND (% MS)	37,44	0,09	0,24	37,55	37,33
FAD (% MS)	15,36	0,71	4,60	16,35	14,77	FAD (% MS)	14,77	0,32	2,19	15,12	14,34
CEL (% MS)	13,57	0,80	5,91	14,67	12,80	CEL (% MS)	11,96	0,17	1,44	12,11	11,72
LAD (% MS)	2,02	0,21	10,50	2,28	1,76	LAD (% MS)	3,08	0,17	5,57	3,30	2,88
FADIN (% N)	3,72	0,80	21,63	4,51	2,62	FADIN (% N)	4,55	1,05	23,08	6,04	3,77
CNET (%MS)	32,64	1,46	4,47	34,37	30,80	CNET (%MS)	27,19	0,35	1,27	27,48	26,70
CSA (% MS)	5,14	0,13	2,47	5,31	5,00	CSA (% MS)	4,72	0,60	12,73	5,52	4,08
ALM (% MS)	27,50	1,34	4,86	29,07	25,80	ALM (% MS)	22,47	0,37	1,67	22,84	21,96
DoTT (%)	83,27	0,46	0,55	83,79	82,67	DoTT (%)	78,99	0,42	0,53	79,55	78,57

sd: desviación estándar de la media; cv: coeficiente de variación; max: valor máximo; min: valor mínimo

3.3.1.3. Ensilados de hierba y maíz

En la tabla 3.4., se indican los valores medios y el rango de variación de las muestras de ensilados de maíz y de hierba empleados en la confección de las raciones completas a lo largo del ensayo de alimentación y analizados en el propio laboratorio del CIAM. El ensilado de hierba fue presecado en el campo, con un nivel de MS del 34,8%, muy semejante a la del ensilado de maíz (34,5%). La calidad del ensilado de maíz fue aceptable de acuerdo a los criterios de calidad aplicados en las rutinas de análisis del CIAM y del LIGAL para estos forrajes teniendo en cuenta los valores medios de pH (3,96), unidades forrajeras leche (0,88 UFL/kg MS) y almidón (32,2 %MS). Para el caso del ensilado de hierba, la calidad fermentativa puede considerarse buena, aunque los valores de butírico son algo elevados. El valor energético es también correcto (0,83 UFL/kg MS) y el contenido en PB (12,4%MS) fue algo bajo aunque se puede considerar normal al proceder de una pradera con dominancia de gramíneas. Puesto que a lo largo del ensayo de alimentación se utilizaron los mismos ensilados, la variabilidad de los diferentes parámetros de calidad fue reducida, con la salvedad de la concentración de los productos de la fermentación.

Tabla 3.4. Composición química media y rangos de variación de los ensilados de maíz y de hierba utilizados en la elaboración de las dietas completas del ensayo de alimentación de las vacas de leche.

	ENSILADO de MAÍZ					ENSILADO de HIERBA				
	Media	sd	cv	max	Min	Media	sd	cv	max	Min
MS (%)	34,56	2,80	8,09	36,38	28,26	34,88	1,69	4,84	37,17	31,43
MO (% MS)	96,89	0,14	0,14	97,10	96,72	90,36	0,63	0,69	91,16	89,14
PB (% MS)	7,34	0,35	4,83	7,90	6,76	12,49	0,61	4,86	13,59	11,78
FND (% MS)	43,10	4,34	10,07	49,82	38,35	48,38	1,14	2,35	50,03	46,36
FAD (% MS)	23,81	2,95	12,38	28,22	20,26	32,48	1,16	3,56	33,88	30,53
ALM (% MS)	32,27	4,50	13,95	38,03	24,78	-	-	-	-	-
DoTT (%)	69,45	1,72	2,48	71,08	66,62	69,20	2,07	2,99	71,80	66,75
UFL/kg MS	0,88	0,04	5,05	0,93	0,81	0,83	0,03	3,38	0,87	0,80
ENL (Mcal/kg MS)	1,50	0,08	5,05	1,58	1,38	1,40	0,05	3,38	1,48	1,36
Factor de corrección MS	1,024	0,003	0,32	1,030	1,020	1,048	0,006	0,56	1,056	1,040
N total	7,62	0,35	4,63	8,09	7,09	14,42	0,61	4,25	15,46	13,57
Ph	3,96	0,15	3,84	4,17	3,76	4,36	0,09	2,01	4,49	4,23
N-NH3 (% N total)	0,08	0,01	16,09	0,10	0,06	0,16	0,03	16,84	0,19	0,11
A. Láctico	5,36	1,12	20,90	6,92	4,10	6,21	0,63	10,21	7,31	5,21
A. Butírico	0,10	0,14	139,73	0,34	0,00	0,83	0,27	32,25	1,19	0,50

sd: desviación estándar de la media; cv: coeficiente de variación; max: valor máximo; min: valor mínimo

3.3.1.4. Raciones completas

La ración establecida se añadió diariamente en el carro mezclador en las cantidades que figuran en la tabla 3.5., de tal forma que, por vaca y día y en MF se aportó 34 kg de ensilado de maíz, 16 kg de ensilado de hierba y 10 kg de concentrado, resultando una ración completa con una contenido medio de MS que osciló entre 40,9 y 42,1% y representó una oferta media diaria de 26,4 kg MS/vaca y día, de la que el 65% aproximadamente eran forrajes y el resto concentrados. Los animales rehusaron el 11% de la MF ofertada. El porcentaje de las materias primas TC, DDGS de maíz, DDGS de trigo y TS en la dieta completa fue de 11,4, 14,65, 11,6 y 8,7 % de la MS total ofertada a cada vaca. Esto supuso emplear 3,0, 3,86, 3,05 y 2,29 kg de MS de las citadas materias primas, respectivamente por vaca y día para la confección de las raciones. Los valores esperados

de la ración calculada se pueden ver en la tabla 3.6. La composición analítica media de las muestras de ración completa de los cuatro tratamientos consumidos por las vacas a lo largo del ensayo de alimentación y analizadas en el laboratorio del CIAM se indica en la tabla 3.7.

Tabla 3.5. Composición de ingredientes de las raciones completas consumida por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.

Forrajes, kg MF/vaca y día	TC	DDGS de MAÍZ	DDGS de TRIGO	TS
Ensilado de maíz	34	34	34	34
Ensilado de hierba	16	16	16	16
Concentrado, kg MF/vaca y día	9	9	9	9
TC	3,012	-	-	-
DDGS de maíz	-	3,860	-	-
DDGS de trigo	-	-	3,050	-
TS	-	-	-	2,290

Tabla 3.6. Valores esperados de la ración completa a consumir por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.

Valores sobre MS	TC	DDGS de MAÍZ	DDGS de TRIGO	TS
PB%	15,10	13,70	14,30	13,80
UFL, kg/MS	0,90	0,90	0,90	0,90
PDIE, g/kg MS	90	90	90	90
PDIN, g/kg MS	98,5	91,10	95,80	93,60
MET DI g/vaca y día	52	52	52	52
LIS DI g/vaca y día	128	119	121	132
Almidón, %	22,0	22,0	22,30	22,60
FND, %	39,30	40,20	40,20	40,0
FAD, %	23,40	23,0	23,20	23,80

Tabla 3.7. Composición analítica de las raciones completas consumida por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.

	Ración completa				p	s.e.
	TC	DDGS de MAÍZ	DDGS de TRIGO	TS		
MS (%)	41,56	42,13	41,59	40,91	0,6552	0,6738
MO (% MS)	92,81	92,68	93,26	92,73	0,1626	0,1948
PB (% MS)	14,02 ^a	13,12 ^b	13,19 ^b	12,98 ^b	0,0045	0,2001
FND (% MS)	39,60	40,74	40,68	39,91	0,6271	0,7390
FAD (% MS)	23,32	23,42	23,49	23,78	0,9543	0,5935
CEL (% MS)	19,74	20,08	19,99	20,95	0,1864	0,4016
LAD (% MS)	3,40	3,08	3,23	2,50	0,0668	0,2370
FADIN (% N)	3,69 ^b	4,77 ^a	3,75 ^b	3,53 ^b	0,0304	0,3051
CNET (%MS)	28,10	26,60	27,55	28,17	0,7214	1,0841
CSA (% MS)	3,97 ^a	2,83 ^b	3,49 ^a	3,77 ^a	0,0010	0,1840
ALM (% MS)	24,13	23,76	24,06	24,40	0,9830	1,1186
EE (%MS)	2,62 ^b	3,50 ^a	2,82 ^b	2,63 ^b	0,0432	0,4311
DoTT (%)	76,31	75,08	74,61	76,49	0,2671	0,7830

p: nivel de significación del test F en el ANOVA; s.e.: error estándar de la media

Valores con distinto superíndice de la misma fila son diferentes al nivel de significación p (0,05; 0,01)

El contenido en MS medio de las dietas completas fue de 41,5% y su composición analítica media (en %MS) fue la siguiente: MO 92,87%, PB 13,3%, FND 40,2%; FAD 23,5% y almidón 24,0%. La digestibilidad de la MO *in vitro* fue de 75,6%.

El contenido en PB de todas las dietas completas resultó ligeramente inferior al planteado inicialmente, mientras que los valores de almidón, FND y FAD fueron muy similares a los esperados.

La ración elaborada con TC mostró contenido analítico significativamente más alto de PB comparada con el resto de los tratamientos. La ración elaborada con DDGS de maíz mostró contenidos analíticos significativamente más altos en EE y en FADIN y más bajos en CSA comparada con los otros tres tratamientos, que no se diferenciaron entre sí en su composición, a este respecto.

3.3.1.5. Digestibilidad *in vivo* de las raciones completas

La evaluación de la digestibilidad *in vivo* con ovinos alojados en jaulas metabólicas de las cuatro dietas completas arrojó los valores que se indican en la tabla 3.8. De los 20 animales utilizados en el ensayo se excluyeron los resultados de dos de ellos en los análisis finales, una en el tratamiento con TC y la otra con los DDGS de maíz, al haberse indispuerto los animales. El nivel de alimentación de la evaluación, realizada *ad libitum*, fue de 1,5 veces mantenimiento, oscilando el porcentaje de MS sobrante sobre la ofrecida diariamente entre 7,3 y 12,6 % para la media de los tratamientos. El coeficiente de variación de la digestibilidad de la MO *in vivo* fue bajo, de 1,12, 1,22, 1,99 y 2,19 para los tratamientos con TC, DDGS de maíz, DDGS de trigo y TS, respectivamente.

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los valores de digestibilidad *in vivo* determinados en el ensayo. Los valores medios de digestibilidad obtenidos para las diferentes fracciones evaluadas fueron: D_{MS} 72,2%, D_{MO} 74,1%, D_N 62,0%, D_{FND} 59,3% y D_{FAD} 54,7%. La ingestión voluntaria, tanto en MS como en MO, registrada en el ensayo fue superior de forma significativa para la dieta completa de la TS comparada con los tratamientos con DDGS de maíz y DDGS de trigo. La ingestión de MO entre los tratamientos de TC y de TS no hubo diferencias significativas entre ellos.

Tabla 3.8. Resultados de la evaluación de la digestibilidad *in vivo* de las raciones completas consumidas por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.

	Ración completa				p	s.e.
	TC	DDGS de MAIZ	DDGS de TRIGO	TS		
Digestibilidad <i>in vivo</i> (%)						
EB (D _E)	-	-	-	-	-	-
MS (D _{MS})	72,58	73,09	71,99	71,31	0,3937	0,7200
MS ¹ (D _{MS}) _{1 x M}	73,87	74,03	73,27	73,29	0,7965	0,6140
MO (D _{MO})	74,49	74,80	74,02	73,16	0,4104	0,7190
MO ¹ (D _{MO}) _{1 x M}	75,67	75,67	75,18	74,98	0,8363	0,6570
N (D _N)	63,11	61,53	62,43	61,30	0,8525	1,6920
FND (D _{FND})	58,97	60,08	60,85	57,48	0,3300	1,4510
FAD (D _{FAD})	52,08	55,67	55,84	55,45	0,2841	1,3920
Ingestión voluntaria (g /kg PV ^{0.75})						
MS (I _{MS})	53,46 ^b	48,21 ^b	53,37 ^b	63,95 ^a	0,0280	3,2410
MO (I _{MO})	50,01 ^{ab}	45,04 ^b	49,81 ^b	59,58 ^a	0,0290	3,1230

p: nivel de significación del test F en el ANOVA; s.e.: error estándar de la media

Valores con distinto superíndice de la misma fila son diferentes al nivel de significación p (0,05; 0,01)

¹ Digestibilidad corregida a nivel de mantenimiento; PV: KgPV

Aunque en la bibliografía no se ha encontrado valores de digestibilidad de dietas completas que contenían estas fuentes proteicas, sí existen estudios de digestibilidad de dichos ingredientes calculados con distintos porcentajes de inclusión en las dietas. Así, en un estudio de Westreicher, (2013) se indica que la digestibilidad de distintas fracciones de tres DDGS estudiados (MO: 77-79-77%, FND: 68-70-61%, FAD: 54-67-59%) empleados así como el de la TC (MO: 79%, FND: 56% y FAD: 54%). Valores similares de digestibilidad de la MO de la TC fueron encontrados por Kluth et al. (2005a). La digestibilidad de la MO, PB, FB y FND es similar entre un DDGS de maíz y otro DDGS de trigo publicado por Urdl et al. (2006). Estos valores no pueden ser comparados con los del presente estudio ya que en este caso se emplearon raciones completas y en los casos descritos se emplearon los ingredientes por separado.

3.3.1.6. Degradabilidad ruminal *in situ* de las materias primas y piensos utilizados en la elaboración de las dietas completas.

En las tablas 3.9. y 3.14., se exponen los resultados del ajuste de los porcentajes de desaparición de MS, MO y N de las bolsas incubadas en el rumen de las vacas canuladas a las curvas definidas por el citado modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$ de Ørskov y McDonald, (1979) y el cálculo posterior de los valores de la degradabilidad ruminal potencial y teórica de dichos componentes considerando una velocidad de tránsito (kp) de $0,06\text{ h}^{-1}$ para esta última. En las figuras 3.1. y 3.2. se pueden ver la representación gráfica de los modelos de degradación de la MS y del N los diferentes tratamientos en el intervalo de 0 a 96 h de incubación para los ingredientes del estudio y el pienso que los contiene.

3.3.1.6.1. Materias primas

Degradabilidad de la MS y de la MO.

La fracción inmediatamente degradable (A) de la MS y de la MO de los DDGS de trigo fue significativamente superior a la de los DDGS de maíz y la de esta materia prima, a su vez, superior a la TS y a la TC, por este orden. La fracción potencialmente degradable (B) más elevada correspondió a la TS, seguida de la TC y los DDGS de maíz y de trigo. La velocidad de degradación ruminal (c) de la MS y de la MO de los DDGS de maíz y de trigo fue significativamente inferior a la observada para la TC y la TS. Para el caso de la degradabilidad teórica (DT) de la MS y la MO, los valores para los DDGS de trigo (77,24 y 77,69%) y para TS (75,54 y 76,06%) fueron significativamente mayores que para los DDGS de maíz (68,49 y 69,26%) y éstos, a su vez, que la TC (62,44 y 62,40%).

Tabla 3.9. Parámetros que describen la cinética de degradación ruminal de la MS, MO y N de las materias primas incubadas *in situ*.

Fracción	MATERIAS PRIMAS					
	TC	DDGS de MAIZ	DDGS de TRIGO	TS	<i>p</i>	<i>s.e.</i>
MS						
A (%)	24,00 ^d	46,92 ^b	58,36 ^a	29,88 ^c	0,0005	1,027
B (%)	60,86 ^b	52,36 ^c	35,46 ^d	68,84 ^a	0,0002	0,702
C (h ⁻¹)	0,1029 ^b	0,0421 ^d	0,0683 ^c	0,1182 ^a	0,0017	0,003
Deg. Potencial (DP, %)	84,86 ^c	99,28 ^a	93,82 ^b	98,72 ^a	0,0023	0,748
Deg. Teórica (DT, %) para k _p =0,06 h ⁻¹	62,44 ^c	68,49 ^b	77,24 ^a	75,54 ^a	0,0005	0,462
MO						
A (%)	24,28 ^d	48,29 ^b	58,89 ^a	30,84 ^c	0,0006	1,064
B (%)	60,42 ^b	50,99 ^c	34,98 ^d	67,90 ^a	0,0003	0,752
C (h ⁻¹)	0,1026 ^b	0,0419 ^d	0,0697 ^c	0,1196 ^a	0,0017	0,003
Deg. Potencial (DP, %)	84,70 ^c	99,27 ^a	93,87 ^b	98,74 ^a	0,0022	0,757
Deg. Teórica (DT, %) para k _p =0,06 h ⁻¹	62,40 ^c	69,26 ^b	77,69 ^a	76,05 ^a	0,0006	0,457
N						
A (%)	5,69 ^c	38,15 ^b	55,75 ^a	8,90 ^c	0,0042	1,411
B (%)	88,93 ^a	61,70 ^b	42,21 ^c	90,37 ^a	0,0266	1,462
C (h ⁻¹)	0,1093 ^b	0,0283 ^d	0,0845 ^c	0,1191 ^a	<0,0001	0,002
Deg. Potencial (DP, %)	94,62 ^b	99,85 ^a	97,97 ^a	99,27 ^a	0,0016	0,474
Deg. Teórica (DT, %) para k _p =0,06 h ⁻¹	63,11 ^c	59,63 ^d	80,45 ^a	69,65 ^b	0,0004	0,433

p: nivel de significación del test F en el ANOVA; s.e.: error estándar de la media

Valores con distinto superíndice de la misma fila son diferentes al nivel de significación p (0,05; 0,01)

A: fracción inmediatamente degradable; B: fracción potencialmente degradable; c: tasa de degradación de la fracción B; Degradabilidad potencial DP= A+B; Degradabilidad teórica DT= A+ [(B x c)/(c + kp)]; kp: tasa de paso de la digesta en el rumen.

En la figura 3.1., se puede ver en la gráfica el diferente comportamiento de los DDGS de maíz comparado con los otros tres ingredientes debido a que tiene un alto porcentaje de fracción inmediatamente degradable (A) unido a la menor velocidad de

degradación ruminal (c). En la figura 3.2., se puede ver este mismo efecto pero diluido por el resto de los componentes del pienso.

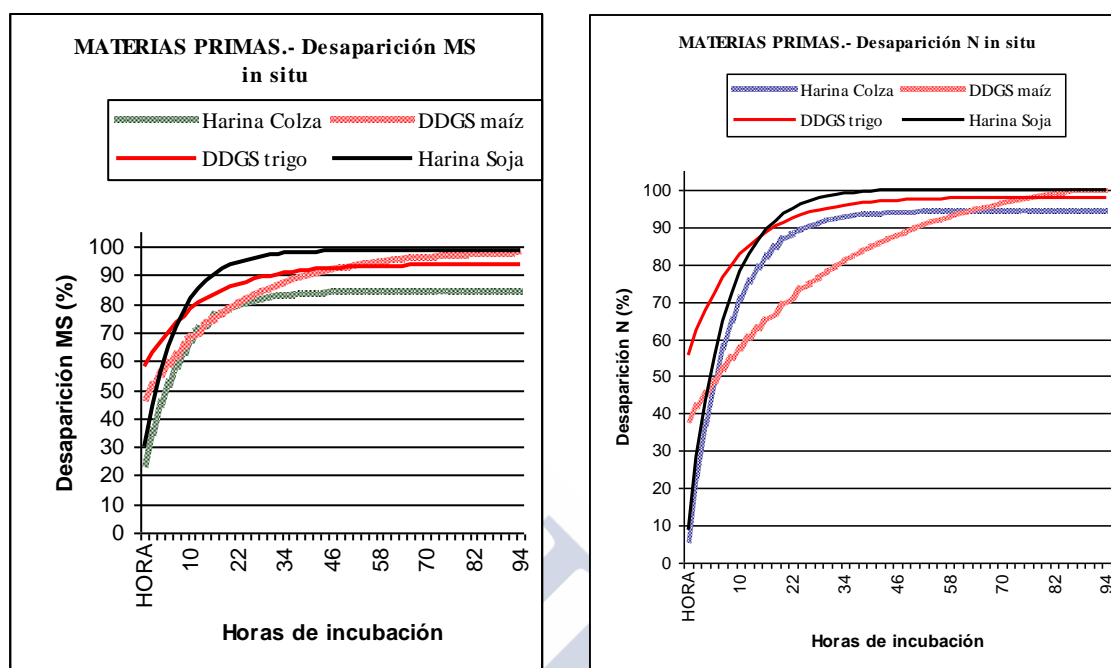


Figura 3.1. Curvas de degradación in situ de la MS y del N de las materias primas, ajustadas al modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$ de Ørskov y McDonald, (1979).

Los valores encontrados por Urdl et al. (2006) para la degradabilidad de la MS de los DDGS de trigo, para tasas de paso de 2, 5 y 8%/h, fueron de 71,4, 60,1 y 54,1%, respectivamente. Estos son valores inferiores a los encontrados en el presente trabajo (77,24% para una tasa de paso de 6%/h). Para el caso de los DDGS de maíz, los valores fueron de 74,7, 63,8 y 58%, respectivamente, frente a 68,49% en el presente trabajo que son valores similares a los obtenidos por este autor. Este autor indica valores poco dispares entre los DDGS de trigo y de maíz para los parámetros de la fracción inmediatamente degradable (A), fracción potencialmente degradable (B), velocidad de degradación ruminal (c), degradabilidad potencial y degradabilidad teórica (DT) de la MS, tabla 3.10. Sin embargo, en el presente trabajo hubo diferencias significativas en todos los parámetros estudiados para los DDGS de maíz y de trigo. En el presente trabajo, la TS tiene una mayor degradabilidad teórica de la MS que los DDGS de trigo y de maíz como ocurre en el caso del trabajo de Urdl et al. (2006). En el caso de la TC, en el presente trabajo, el resultado es similar al obtenido por Urdl et al. (2006) pues en ambos casos se obtiene el menor valor de degradabilidad teórica de la MS para este ingrediente comparado con las otras fuentes proteicas. Una posible explicación de la diferencia en estos resultados pudiera ser debido a la temperatura del secado en la obtención de los DDGS.

Tabla 3.10 Parámetros que describen la cinética de degradación ruminal de la MS de las materias primas incubadas in situ. Gruber et al., 2005.

	A	B	c	(a + b)	DE2	DE5	DE8
TC	33,3	44,7	0,053	78	65,2	55,8	50,7
TS	29,4	67,9	0,068	97,3	81,8	68,5	50,5
DDGS de trigo	34,8	52,1	0,047	86,9	71,4	60,1	54,4
DDGS de maíz	39,1	50,5	0,048	89,6	74,7	63,8	58,0

A = Fracción inmediatamente degradable (%)

B = Fracción potencialmente degradable (%)

c = Velocidad de degradación ruminal (h^{-1})

A + B = Degradabilidad potencial (%)

DE = Degradabilidad efectiva para ratios de tiempo de paso de 0.02, 0.05, 0.08 h^{-1}

De una manera similar a lo indicado en el presente trabajo, Nuez-Ortín, (2010) indica que existen diferencias significativas en la degradabilidad de la MS y de la FND tras 24 horas de incubación entre los DDGS de trigo y de maíz (MS: 90,6 vs. 74,9%; FND: 43,8 vs. 26,9%, respectivamente), pero al cabo de 48 h de incubación las diferencias desaparecen. En el ensayo de este autor se indica que existen diferencias significativas en la degradabilidad de la MS y de la MO de los DDGS de trigo producidos en diferentes plantas de etanol (plantas 1 y 2) obteniéndose valores para la MS de 64,44 y 71,11% y para la MO de 60,45 y 68,54% tras 24 h de incubación.

En cuanto a la velocidad de degradación de la MS, Nuez-Ortín, (2010), tabla 3.11., indica que los DDGS de trigo frente a los de maíz presentan diferencias significativas entre sí (5,98 vs. 4,11%/h) del mismo modo que como se indica en el presente trabajo (DDGS de trigo: 6,83%/h; DDGS de maíz: 4,21%/h). Para la velocidad de degradación de la MO, este autor indica valores para los DDGS de maíz de 4,06%/h frente a los de trigo, que obtiene 6,07%/h, valores en similares a los obtenidos en el presente trabajo (6,97 para el de trigo y 4,19%/h para el de maíz).

Tabla 3.11. Comparación de los DDGS de trigo y de maíz y de diferentes plantas de bioetanol de los parámetros in situ de la degradabilidad de la MS, MO y PB. Nuez-Ortín, (2010).

	DDGS de trigo	DDGS de maíz	Planta 1 DDGS de trigo	Planta 2 DDGS de trigo
<i>In situ</i> características de degradación de la MS				
c (%/h)	5,98	4,11	4,01	7,30
Degradabilidad potencial (%)	60,11	65,01	64,83	56,96
Degradabilidad efectiva (%)	57,67	52,39	54,89	59,53
<i>In situ</i> características de degradación de la MO				
c (%/h)	6,07	4,06	3,97	7,48
Degradabilidad potencial (% MO)	66,57	73,91	72,98	62,30
Degradabilidad efectiva (% MO)	53,47	46,36	49,64	56,02
<i>In situ</i> características de degradación de la PB				
c (%/h)	4,56	4,19	3,54	5,24
Degradabilidad potencial (% PB)	89,45	73,65	87,77	90,56
Degradabilidad efectiva	45,58	33,95	44,80	46,10

Maxin et al. (2013) encuentran valores de degradabilidad de MS para una tasa de paso de 7%/h similares a los obtenidos para el caso de la TS (72,6%) y los DDGS de trigo (75%) comparados con los obtenidos en el presente trabajo (75,54% para TS y 77,24% para DDGS de trigo). Sin embargo, encuentra valores diferentes a los del presente trabajo para el caso de la TC (57,2 vs. 62,44%). Este autor encuentra, en el caso de los DDGS de maíz de alta proteína, valores de 55,5% frente a los DDGS de maíz del presente trabajo (68,49%).

Para el caso de la TC, Ha y Kennelly, (1984) indican valores de degradabilidad efectiva de las MS de 57,1% y 57,7% frente al valor de 62,44% del presente trabajo. Los valores que aportan Kirpatrick y Kennelly, (1987) son mas similares a los resultados del presente trabajo, ya que indican valores de 63 y 64,2% frente a 62,44%. Kendall et al. (1993) proporcionan valores más bajos (53,5%). Piepenbrink y Schingoethe, (1998) indican un valor del 65,1%, mientras que Woods et al. (2003) indican un valor de degradabilidad de la MS del 60,5%. Sadeghi y Shawaran, (2006) encuentran valores de

degradabilidad efectiva de la MS para la TC de 78,1, 66,5 y 59,5% para tasas de paso de 2, 5 y 10%/h, respectivamente frente al valor de 62,44% del presente trabajo.

Degradabilidad del N.

La fracción nitrogenada inmediatamente degradable (A) de los DDGS de trigo (55,7%) fue significativamente superior a la de los DDGS de maíz (38,1%) y la de ambos, a su vez, a la de la TC Y TS (5,6 y 8,9%, respectivamente) que no se diferenciaron entre sí. Estas materias primas mostraron los valores más altos de la fracción B (N potencialmente degradable), con valores de 90,3 y 88,9 % para la TS y TC, respectivamente, que fueron significativamente superiores al de los DDGS de maíz (61,7%) y al de los DDGS de trigo (42,2%). La velocidad de degradación ruminal de la fracción B fue marcadamente inferior para los DDGS de maíz ($0,028 \text{ h}^{-1}$) seguida de la de los DDGS de trigo ($0,084 \text{ h}^{-1}$), y de la TC ($0,109 \text{ h}^{-1}$), siendo la más alta la de la TS ($0,119 \text{ h}^{-1}$). La materia prima con la degradabilidad ruminal del N más elevada fueron los DDGS de trigo, que mostraron un valor DT de 80,4%, seguidos de la TS (69,6%), TC (63,1%) y DDGS de maíz (59,6%), siendo todos los valores medios significativamente diferentes entre sí.

Con los valores de degradabilidad obtenidos en el presente ensayo y aplicando las ecuaciones de Verité et al. (1987) y aplicando los criterios de digestibilidad real de la PNDR de FEDNA, (2010) se obtienen los siguientes valores de PDI, tabla 3.12.

Tabla 3.12. Comparación de los valores de PDI de las materias primas de del presente ensayo con los valores de FEDNA, (2010) e INRA, (2002).

	TC			DDGS de MAÍZ			DDGS de TRIGO			TS		
	CIAM	FEDNA, 2010	INRA, 2002	CIAM	FEDNA, 2010	INRA, 2002	CIAM	FEDNA, 2010	INRA, 2002	CIAM	FEDNA, 2010	INRA, 2002
PDIN, g/kg	240	220	219	179	179	181	213	228	228	359	339	346
PDIE, g/kg	169	138	138	146	147	154	118	156	143	226	225	238
PDIA, g/kg	118	90	92	94	104	108	63	108	102	162	173	186
DT, %	63,1	70	69	59,6	55	56	80,45	66	68	69,65	65	63

En dicha tabla se puede observar que los valores de PDI obtenidos en el presente ensayo son similares a los que figuran en las tablas FEDNA, (2010) e INRA (2002), excepto para los DDGS de trigo en donde la diferencia se debe principalmente al valor de DT del presente ensayo en donde se ha obtenido un 80,45% frente a 66 y 68% de las tablas citadas, respectivamente.

Chapoutot et al. (2000) indican valores diferentes estadísticamente significativos para la degradabilidad de la proteína de DDGS de trigo de dos plantas francesas de producción de etanol, serían de 74 y 82%, este último es muy similar al obtenido en el presente trabajo (80,45%). Mustafa et al. (2000) indican que la degradabilidad de la proteína de los DDGS de trigo es mayor que la de los DDGS de maíz tal y como se indica en el presente trabajo. Los resultados de degradabilidad ruminal del N obtenidos en el presente trabajo son diferentes a los obtenidos por Todorov et al. (2007) ya que estos autores indican unos valores de degradabilidad de la proteína de la TS de 63 vs. 69,45%, de la TC de 69 vs. 63,11%, de los DDGS de trigo de 62 vs. 80,45%, que es donde mas diferencia se encuentra. Sin embargo, para el caso de los DDGS de maíz, los resultados son mas parecidos (56 vs. 59,63%). En un estudio de Chrenková et al. (2012) sobre DDGS obtenidos en plantas de producción de etanol de la República de Checa indican valores de DT, para una tasa de paso de 6%/h de 46,5% para los DDGS de maíz y de 58,5% para los DDGS de trigo, valores alejados a los del presente ensayo. Maxin et al. (2013) indican valores de degradabilidad de PB, para una tasa de paso de 7%/h, mas similares a los del presente trabajo, de tal modo que para la TS, TC, high protein DDG de maíz y DDGS de trigo indican valores de 66, 59,3, 48,2 y 84,8%, frente a los indicados en el presente trabajo (69,65, 63,11, 59,63 y 80,45%, respectivamente), aunque para el caso de los DDGS de maíz la diferencia es de 11,43 mas alto en el trabajo presente a pesar, incluso de usar una tasa de paso de 6%/h frente a la tasa de 7%/h de Maxin et al. (2013).

En el caso de la degradabilidad de la proteína de los DDGS de maíz existen muchos trabajos que indican amplio rango de variación, así Nakamura et al. (1994) indican valores comprendidos entre 16 y 80%. Stern et al. (1995) encontraron valores de PND de $56 \pm 8\%$. Otros autores (Harty et al., 1998) indican valores medios de 53% con una variabilidad amplia, con rangos entre 40 y 68%, dependiendo de la planta de producción donde se obtengan. El valor encontrado por Schingoethe et al. (2004) es del 55% y Kleinschmit et al. (2007) indican valores de 71,7, 63,7, 59,1, 67,5 y 60,3% para una tasa de paso de 0,068/h. Mientras que Kelzer et al. (2008) indican valores del 33,2 y 56,3%. Con estos valores tan variables, los conseguidos en el presente trabajo (59,63%) entrarían en el rango de variación de los valores encontrados por los autores anteriores.

Para el caso de la TC, Ha y Kennelly (1984) indican valores de degradabilidad efectiva de la PB de 68,5 y 65,5%, similares al del presente trabajo. Kirkpatrick y Kennelly (1987) obtienen valores de degradabilidad de la PB de 63,2 y 72%, es decir, muestran cierta variabilidad. Kendal et al. (1991) indicaron que la degradabilidad efectiva de la proteína de la TC era un promedio de 51,5% comparada con 59,10% de la TS, que son valores alejados de los encontrados en el presente trabajo. Valores similares a los del presente trabajo son los de Cheng et al. (1993) que obtienen el mismo valor que en el presente trabajo, ya que la degradabilidad efectiva de la TC fue 62,5% con

dietas en base a concentrados, aunque también haya valores superiores en dietas con heno que fue de 74,9% y con dietas de paja indican una degradabilidad del 72,3%. Valores mas alejados a los del presente trabajo son los de Piepenbrink y Schingoethe (1998) que indican que la degradabilidad efectiva de proteína de la TC fue del 53,1%. De manera parecida a lo indicado en el presente trabajo, en un estudio de Südekum et al. (2003) sobre 10 muestras de TC procedentes de extractoras alemanas actuales comparadas con 7 muestras de TS procedentes de plantas de extracción alemanas y de TS importadas, para una tasa de paso de 5%/h., establecen que la TC y la TS tienen un contenido de PNDR de 300 g/kg de PB. Woods et al. (2003) encontraron que la degradabilidad efectiva de la PB de la TC fue del 66,7% y la de la TS fue del 73,8%, valores no muy lejanos a los obtenidos en el presente trabajo. Sadeghi y Shawaran (2006) indican valores de degradabilidad efectiva de la proteína de 79,3, 65,2 y 56,9% para tasas de paso de 2, 5 y 10%/h, respectivamente. Homolka et al. (2007) indican valores de degradabilidad de la proteína de 56,3, 62,1 y 69,6% para tasas de paso de 8, 6 y 4%/h, respectivamente.

Nuez-Ortín, (2010) indica valores de degradabilidad de la proteína de los DDGS de trigo y de los DDGS de maíz de 45,58 y 33,95%, respectivamente y entre plantas de producción de DDGS de trigo los valores medios son de 44,80 y 46,10%. Estos valores son muy inferiores a los encontrados en el presente trabajo para los DDGS de trigo y DDGS de maíz, respectivamente (80,45 y 59,63%). Los valores de la velocidad de degradabilidad de la PB encontrados difieren con los de Nuez-Ortín de tal modo que establece para los DDGS de trigo un valor de 4,56 %/h frente a los 8,45%/h del presente trabajo, en el caso de los DDGS de maíz los resultados son muy dispares ya que en el presente trabajo se obtiene un valor de 2,83%/h frente a 4,19%/h.

Tabla 3.13. Valores de la fracción inmediatamente degradable (A), fracción potencialmente degradable (B), velocidad de degradación ruminal (c) y degradabilidad teórica (DT) de la MS y del N, según NRC, (2001), INRA, (2002) y FEDNA, (2010).

	TC			DDGS de maíz			DDGS de trigo			TS		
Degradación ruminal del N	NRC, 2001	INRA, 2002	FEDNA, 2010	NRC, 2001	INRA, 2002	FEDNA, 2010	NRC, 2001	INRA, 2002	FEDNA, 2010	NRC, 2001	INRA, 2002	FEDNA, 2010
A (%)	23,2	27	20	28,5	25	22	-	36	21	15	13	14
B (%)	70,4	67	72	63,3	60	70	-	58	74	84,4	85	85
c (%/h)	10,4	10	14	3,6	6,5	5,5	-	7,5	9,5	7,5	8,5	9,0
DT	64,3	69	70	49,2	56	55	-	68	66	57,4	63	65
Degradación ruminal de la MS	INRA, 2002			INRA, 2002			INRA, 2002			INRA, 2002		
A (%)	28			40			48			26		
B (%)	55			49			44			71		
c (%/h)	8,5			6,0			5,5			8,0		
DT	60			65			69			67		

Si comparamos los valores de los parámetros de degradabilidad de la PB del presente trabajo, tabla 3.9., frente a los valores encontrados en las tablas NRC, 2001; INRA, 2002 y FEDNA, 2010 (tabla 3.13.), se puede ver que para la TC el valor obtenido en el presente ensayo se parece más a los correspondientes al de la velocidad de degradación ruminal (c) y el de la degradabilidad teórica (DT) del NRC, 2001. Para los DDGS de maíz el valor obtenido en el presente ensayo más parecido es el de la fracción potencialmente degradable (B) del NRC, 2001. Para los DDGS de trigo el valor obtenido en el presente ensayo que más se parece es el de la velocidad de degradación ruminal (c) y estaría comprendido entre el de FEDNA, 2010 y el de INRA, 2002. Para la TS el valor con menor diferencia es el de la fracción potencialmente degradable (b), velocidad de degradación ruminal (c) y la degradabilidad teórica (DT) correspondiente a FEDNA, 2010.

3.3.1.6.2. Piensos

Degradabilidad de la MS y de la MO.

Los concentrados con DDGS de trigo y maíz en su formulación mostraron los valores más altos de la fracción inmediatamente degradable de la MS y MO comparados con los

otros dos tratamientos. De forma inversa, la fracción potencialmente degradable de la TC y TS fue numéricamente superior a la de los dos DDGS. La menor velocidad de degradación ruminal correspondió al concentrado con DDGS de maíz, tal y como aconteciera en el análisis de los modelos de degradabilidad in situ de materias primas. El concentrado con DDGS de trigo mostró el valor más alto de degradabilidad teórica (DT) de MS (71%) y de la MO (71,5%), seguido de la TC (68,8 y 69,20%) y TS (68,6 y 69,3%) y de DDGS de maíz (67,50 y 67,80%).

Degradabilidad del N.

De forma semejante a lo observado para las materias primas, los concentrados con DDGS de trigo y maíz mostraron los valores más altos de la fracción nitrogenada A, inmediatamente degradable y los más bajos de la fracción B, potencialmente degradable, comparados con los basados en la TC y TS como suplementos proteicos. La velocidad de degradación del N potencialmente degradable del concentrado con DDGS de maíz ($0,043 \text{ h}^{-1}$) fue significativamente inferior a la observada para los otros concentrados ($0,073$, $0,082$ y $0,092 \text{ h}^{-1}$ para los de TS, DDGS de maíz y TC, respectivamente). El N del concentrado con DDGS de maíz fue el menos degradable, con un valor DT del 57,6%, seguido del concentrado suplementado con TS (62,3%) y de los elaborados con DDGS de trigo (67,7%) y TC (67,4%), no diferenciándose significativamente estos dos últimos entre sí.



Tabla 3.14. Parámetros que describen la cinética de degradación ruminal de la MS, MO y N de los concentrados incubados *in situ*.

Fracción	PIENSOS					
	TC	DDGS de MAÍZ	DDGS de TRIGO	TS	<i>p</i>	<i>s.e.</i>
MS						
A (%)	38,86 ^b	44,48 ^a	45,34 ^a	37,81 ^b	0,0381	1,138
B (%)	50,98 ^b	49,03 ^b	46,53 ^b	56,29 ^a	0,0265	1,084
c (h ⁻¹)	0,0858 ^a	0,0544 ^c	0,0746 ^b	0,0727 ^b	0,0023	0,001
Deg. Potencial (DP, %)	89,84 ^c	93,51 ^a	91,87 ^b	94,10 ^a	0,0010	0,164
Deg. Teórica (DT, %) para k _p =0,06 h ⁻¹	68,85 ^b	67,81 ^b	71,13 ^a	68,65 ^b	0,0411	0,433
MO						
A (%)	39,43 ^b	43,94 ^{ab}	45,98 ^a	38,89 ^b	0,0423	1,196
B (%)	50,14 ^b	49,15 ^{bc}	45,58 ^c	54,99 ^a	0,0295	1,139
c (h ⁻¹)	0,0878 ^a	0,0552 ^c	0,0767 ^b	0,0742 ^b	0,0022	0,001
Deg. Potencial (DP, %)	89,57 ^c	93,09 ^a	91,56 ^b	93,89 ^a	0,0010	0,174
Deg. Teórica (DT, %) para k _p =0,06 h ⁻¹	69,22 ^{ab}	67,50 ^b	71,56 ^a	69,30 ^{ab}	0,0337	0,455
N						
A (%)	23,12 ^b	30,57 ^a	29,62 ^a	18,61 ^b	0,0230	1,404
B (%)	72,98 ^a	64,76 ^b	65,99 ^b	79,25 ^a	0,0137	1,395
c (h ⁻¹)	0,0929 ^a	0,0431 ^d	0,0820 ^b	0,0739 ^c	0,0002	0,001
Deg. Potencial (DP, %)	96,11 ^b	95,33 ^b	95,60 ^b	97,87 ^a	0,0179	0,238
Deg. Teórica (DT, %) para k _p =0,06 h ⁻¹	67,46 ^a	57,63 ^c	67,73 ^a	62,35 ^b	0,0014	0,482

p: nivel de significación del test F en el ANOVA; s.e.: error estándar de la media

Valores con distinto superíndice de la misma fila son diferentes al nivel de significación p (0,05; 0,01)

A: fracción inmediatamente degradable; B: fracción potencialmente degradable; c: tasa de degradación de la fracción B; Degradabilidad potencial DP= A+B; Degradabilidad teórica DT= A+ [(B x c)/(c + kp)]; kp: tasa de paso de la digesta en el rumen.

En la figura 3.2., podemos ver que las gráficas tienen un paralelismo con las correspondientes a las de la figura 3.1., pero aminoradas por la dilución del resto de los componentes del pienso. Aún así, se puede observar que los DDGS de maíz siguen manteniendo una cinética particular tanto en la gráfica de la desaparición de la MS y, sobre

todo, para la gráfica de desaparición del N debido a su menor velocidad de degradabilidad ruminal (c) del la MS (5.52%/h) y del N (4.31%/h) del pienso que contiene DDGS de maíz.

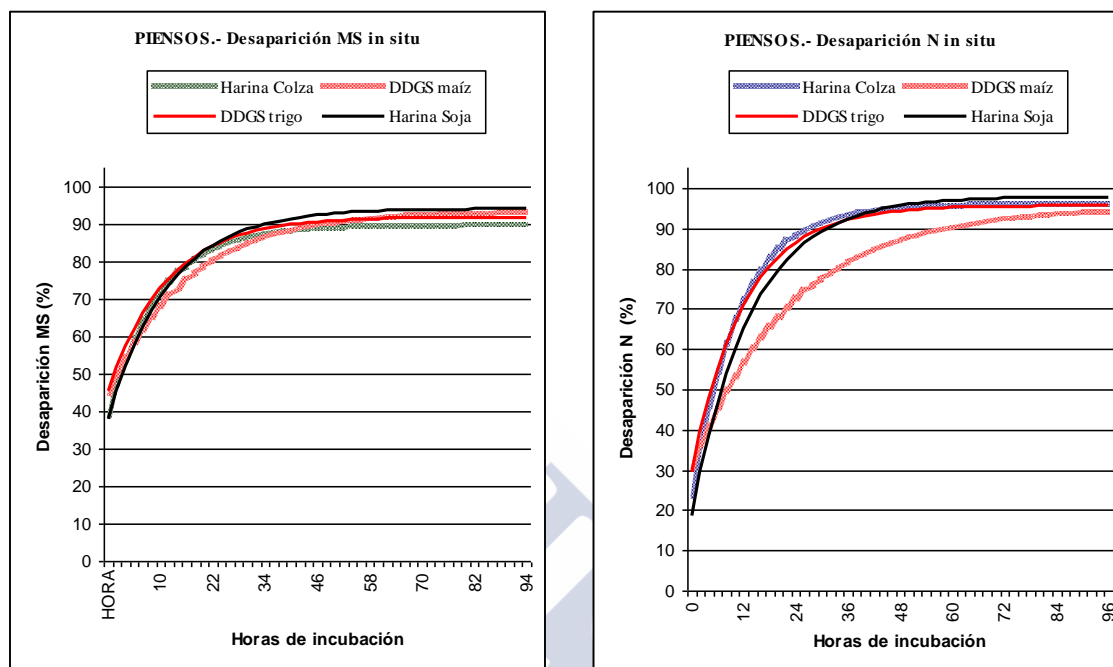


Figura 3.2. Curvas de degradación in situ de la MS y del N de los concentrados, ajustadas al modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$ de Ørskov y McDonald, (1979).

3.3.1.7.- Resultados del ensayo de producción de leche

Las covariables número de parto, producción de leche en el período preexperimental y días en leche no resultaron significativas ($p>0,005$) para ninguna de las variables estudiadas y, consecuentemente, fueron retiradas del modelo de análisis de los resultados del ensayo de alimentación de las vacas de leche.

En la tabla 3.15., se exponen los resultados del tipo de concentrado sobre la MSI, la composición fisicoquímica de la leche, producción y variación de PV de las vacas. La MSI de la ración completa no se vio influenciada por la materia prima proteica integrante del pienso, oscilando entre 22,5 y 23,3 kg MS/vaca y día. Tomando como referencia una oferta media diaria por vaca de 26 kg de MS, el porcentaje de alimento rehusado fue del 11,8%, cifra muy próxima al 10% previsto.

El valor medio de MG de la leche de las vacas que consumieron DDGS de maíz fue significativamente inferior al los tratamientos de TC y de TS (MG: 3,50; 3,90 y 4,04 %, respectivamente). También fue numéricamente inferior al de los DDGS de trigo (MG: 3,74%,) pero la diferencia no fue significativa. De un modo similar ocurrió con el porcentaje de PB de la leche, que fue significativamente inferior para los DDGS de maíz

comparada con la TC y TS (PB: 2,94; 3,10 y 3,09%, respectivamente). El contenido en PB de la leche de las vacas que consumieron DDGS de trigo (PB: 3,01%) no fue significativamente diferente del de los DDGS de maíz ni del de la TS. El nivel de urea en leche del tratamiento de TC (148 mg/kg) fue significativamente superior al tratamiento control con TS (131 mg/kg) y éste, a su vez, al de los DDGS de trigo (127 mg/kg), pudiendo considerarse normales todos ellos e indicativos de un adecuado equilibrio de la ración entre los niveles de proteína degradable y no degradable en el rumen. La concentración de urea en leche de los DDGS de maíz (87 mg/kg) fue significativamente inferior al resto de los tratamientos y podría reflejar un déficit de N y/o energía a los microorganismos del rumen, en concordancia con el hecho de que esta materia prima presenta los valores más altos de MS, MO y N no degradables en el rumen, como se evidenció en la evaluación *in situ*.

Tabla 3.15. Efecto del tipo de concentrado sobre la MSI, composición físico-química de la leche, producción y variación de PV de las vacas en el ensayo de alimentación.

	TRATAMIENTO				<i>p</i>	<i>stderr</i>
	TC	DDGS de MAIZ	DDGS de TRIGO	TS		
MSI de la dieta completas						
MSI (kg/vaca y día)	23,39	22,82	22,97	22,58	0,6627	0,468
Composición de la leche						
MG, %	3,90 ^{ab}	3,50 ^c	3,74 ^{bc}	4,04 ^a	0,0014	0,098
PB, %	3,10 ^a	2,94 ^b	3,01 ^{ab}	3,09 ^a	0,0061	0,036
Urea, mg/kg	148,82 ^a	87,75 ^d	127,17 ^c	131,00 ^b	<0,0001	4,900
Producción de leche						
kg leche 3.5% MG/vaca y día	32,28	30,34	31,18	31,67	0,3923	0,827
kg leche 3.5% MG y 35% PB/vaca y día	31,63	29,77	30,53	30,89	0,3814	0,773
Producción de grasa y proteína						
kg MG/vaca y día	1,18	1,06	1,12	1,17	0,0662	0,037
kg PB/vaca y día	0,93	0,89	0,90	0,89	0,4251	0,022
Eficiencia de utilización de la MSI						
kg leche (3.5% MG)/kg MSI	1,41	1,36	1,36	1,43	0,7219	0,055
kg leche (3.5% MG y 3.5% PB)/kg MSI	1,38	1,33	1,33	1,40	0,7479	0,051
Variación de PV						
VPV (g/día)	709,2	635,6	573,3	645,4	0,4833	130,54

p: nivel de significación del test F en el ANOVA; s.e.: error estándar de la media

Valores con distinto superíndice de la misma fila son diferentes al nivel de significación *p* (<0,05).

Las variables de producción de leche (estandarizada por su contenido en grasa y proteína) y de producción diaria de los componentes de la leche (grasa y proteína) no difirieron significativamente entre tratamientos. Se considera interesante señalar que los valores numéricos más bajos de dichas variables correspondieron, en general, a los DDGS de maíz. En cuanto a la relación entre MSI por los animales y la leche producida diariamente (eficiencia de conversión de la dieta) tampoco se pusieron de manifiesto diferencias significativas entre tratamientos, aunque los valores numéricamente más bajos correspondieron a los DDGS de maíz y trigo comparados con la TC y la TS. No se registraron diferencias significativas en cuanto a la variación de PV de las vacas en los diferentes tratamientos. El consumo de concentrado por kg fue sensiblemente igual en todos los tratamientos y se situó alrededor de 240 g/kg.

En un metanálisis realizado por Kalscheur (2005) sobre 23 ensayos experimentales y comparando 96 tratamientos con granos de destilería en vacas lecheras encuentran una serie de resultados. Para el caso de la MSI, vacas alimentadas con DDGS de maíz, la MSI aumenta al aumentar el nivel de inclusión de los DDGS de maíz y era mayor cuando se usaban entre un 20 y 30% de la MS. Estas vacas consumieron 0.7 kg de MS mas que vacas alimentadas con la dietas control que no contenían DDGS de maíz. Incluso vacas que consumieron más de un 30% de DDGS sobre MS consumieron la misma cantidad que las vacas del grupo control. En general, los granos de destilería se consideran altamente apetecibles ya que la MSI se estimula cuando estos ingredientes se emplean por encima del 20% de la MS en las dietas de vacas lechera. El descenso en el consumo cuando se emplean altos niveles de inclusión, superiores al 30% de la MS, puede ser debido a la alta concentración de la grasa en la ración y en el caso de los WDGS, al alto contenido en humedad. En el presente trabajo, con niveles de inclusión de los DDGS de maíz del 14,65% de la MS, el consumo de MS de la ración total no tuvo diferencias significativas con el resto de los tratamientos (TC, DDGS de trigo y TS). Kalscheur (2005) indica que vacas alimentadas con dietas que contenían entre un 4 y un 30% de DDGS de maíz no presentaban diferencias significativas en la producción de leche, aunque hay una respuesta curvilínea al ir aumentando la cantidad de granos de destilería, producían 0,4 kg/día mas que vacas alimentadas sin DDGS. Cuando las vacas consumieron >30% de DDGS, la producción de leche tiende a disminuir. Estas vacas producían 0,8 kg/día menos que sin DDGS. Vacas con un consumo de WDGS >20% se producía una reducción de la producción lechera, lo cuál estaba mas relacionado con el descenso en el consumo de MS. En el presente ensayo, el consumo de DDGS de maíz en la ración fue del 14,65% (sobre MS) y la producción lechera no se vio afectada de forma significativa comparado con el resto de los tratamientos. Para el caso del porcentaje de GB de la leche, Kalscheur (2005) nos indica que no varía de manera significativa según el nivel de inclusión, según estos resultados, no apoyan la teoría de

que los DDGS de maíz producen una depresión de grasa en la leche. Sin embargo, en el presente trabajo, el porcentaje de GB en leche obtenido en el tratamiento con DDGS de maíz tiene el menor valor y es significativo con respecto al resto de los tratamientos. Para el porcentaje de PB en la leche, Kalscheur (2005) indica que ésta no varía de forma significativa entre las dietas que contenían entre 0 y 30% de DDGS de maíz. Sin embargo, el porcentaje de PB decrece 0,13 puntos cuando se incluyen por encima del 30% comparado con las dietas control. En el presente trabajo, el porcentaje de PB en la leche fue el valor mas bajo y presentó diferencias significativas comparado con el tratamiento con TS y TC y no presentó diferencias significativas con el tratamiento con DDGS de trigo. Este menor porcentaje de PB puede deberse a una menor digestibilidad de la proteína intestinal, menor concentración de lisina o un inadecuado balance del perfil de AA, aunque los niveles empleados en el presente trabajo fueron del 14,65%, y estas causas de reducción de PB en la leche son mas propias de inclusiones de DDGS de maíz altos (>30%) y con los DDGS producidos en las plantas de producción de etanol de la década de los años 80 y 90.

Contrariamente a los resultados del presente trabajo, Schingoethe (2004) en un estudio donde compararon los resultados de 8 ensayos en los que las dietas que contenían DDGS de maíz, éstas dieron mas leche que dietas con TS u otras fuentes proteicas.

De modo contrario al presente trabajo, Kleinschmit et al. (2006) compararon tres tipos diferentes de DDGS de maíz, sometidos a tres regímenes de temperatura e incluidos al 20% de la MS en la ración de vacas lecheras y reemplazando parte del maíz y la TS de tal modo que las vacas alimentadas con DDGS de maíz tuvieron mayor producción de leche (32,7 vs. 29,6 kg/día), mayor valor de energía corregida para leche (35,4 vs. 32,3 kg/día) en comparación con la TS. La eficiencia del alimento, la producción de grasa y de proteína fueron mayores en comparación con la TS. Parte de ello se debe a la mayor concentración de energía por el mayor contenido de GB de la ración. En este estudio, el porcentaje de PB en la leche del tratamiento con DDGS de maíz fue inferior comparado con los otros tratamientos y fue significativo frente a TC y TS. Sin embargo, Pamp et al. (2006) compararon los DDGS de maíz con la TS como suplemento proteico y la producción fue similar o mayor para el caso de la ración con DDGS, aunque las dos dietas fueron iguales en PNDR y GB. Hay que tener en cuenta que en el presente ensayo, las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas, así como la cantidad de metionina digestible en el intestino, pero no en lisina.

De manera similar al presente trabajo, excepto para el porcentaje de GB en la leche, Urdl et al. (2006), en un trabajo sobre DDGS de maíz y DDGS de trigo producidos en plantas de Austria, no encontraron diferencias significativas en la MSI, la producción de leche ni en la composición de la misma (proteína, grasa y lactosa) entre el tratamiento

control, que contenía una mezcla de TS y TC como suplemento proteico y los tratamientos con DDGS de trigo y DDGS de maíz en vacas consumiendo ensilado de hierba y ensilado de maíz y con una producción media de 26,2 kg/día, con una GB de 4,46% y un valor de PB en leche de 3,35%. Tampoco hubo diferencias significativas en el PV de los animales comparando los 3 tratamientos empleados. Hay que indicar que en el trabajo de dicho autor, el porcentaje de DDGS de maíz fue del 5% de la MSI.

De manera similar al presente trabajo, Westreicher, (2013) no encontró diferencias significativas en el consumo de MS de vacas cuando se alimentaron con TC frente a los DDGS de maíz a los niveles de inclusión de 17 y 15% respectivamente. En el trabajo de Westreicher, (2013) no existen diferencias ni en la producción ni en el porcentaje de GB en leche cuando se comparan los DDGS de maíz frente al control con TC, al contrario de los que sucede con el presente ensayo. Una posible explicación de que no haya una reducción del contenido en la GB de la leche es que el contenido de los DDGS del trabajo de Westreicher, (2013) eran bajos (entre 66 y 75 g/kg de MS) y teniendo en cuenta que su nivel de inclusión fue de 15-17% de la MS de la ración total, resultó una ingestión de grasa de 240 y 290 g/día. En el presente trabajo la ingestión de grasa procedente de los DDGS de maíz fue de 380 g/día, lo cuál tampoco explicaría el menor valor de GB en leche obtenido (2,94%) en el presente ensayo. Tampoco existen diferencias en la producción de proteína entre dos de los tratamientos con DDGS de maíz comparados con el tratamiento con TC, al igual que ocurre con el presente trabajo. Sin embargo, existen diferencias en el porcentaje de PB en la leche entre el control con TC y uno de los tratamientos con DDGS de maíz, este resultado es similar a lo que ocurre con el presente trabajo. Una posible explicación de estos resultados, desde el momento en que la MSI no varía entre tratamientos ni varía la composición entre las raciones completas puede ser debida a diferencias en el contenido de PNDR, el perfil de AA de la PNDR y la digestibilidad de esta PNDR, así como las otras fuentes de proteína empleadas en la ración. Del mismo modo que Powers et al. (1995) se observó menor porcentaje de PB en leche cuando los DDGS de maíz sustituyeron a la TS o la harina de sangre. En el presente trabajo, el menor contenido de PB en la leche con el tratamiento con DDGS de maíz puede explicarse por el contenido en lisina, comparado con el resto de los tratamientos, ya que tanto TS como TC tienen mayor contenido en lisina y en metionina que los DDGS. De acuerdo con Powers, et al. 1995, la reducción del porcentaje de PB en la leche, podría deberse a una peor calidad por mayor proporción de proteína no disponible que se refleja en un contenido de FNDIN de los DDGS de maíz (16,6% de la PB) comparado con los DDGS de trigo (7,28%), TC (6,13%) y TS (4,58%). Sin embargo, Kleinschmit et al. (2007) y Li et al. (2012) indican que FADIN no es un buen indicador de la falta de disponibilidad de la PB de los DDGS de maíz en el intestino. De hecho, Nakamura et al. (1994) y Kajikawa et al. (2012) indican que una

parte del FNDN se puede degradar en el rumen y ser aprovechado por el metabolismo ruminal.

La combinación de alta PNDR y bajo contenido de lisina de los DDGS (trigo y maíz) puede explicar el bajo porcentaje de PB en la leche. Moolrooney et al. (2009) indican que se produce una menor concentración de lisina en sangre cuando se incrementan los niveles de DDGS de la dieta debido a la deficiencia en lisina de los DDGS, esta misma circunstancia la han indicado Palmquist y Conrad, (1982); Kleinschmit et al. (2006) y Nichols et al. (1998). Boucher et al. (2009) y O'Mara et al. (1997) encontraron que una mejor digestibilidad de la lisina de los DDGS comparados con los AA de otros ingredientes. De acuerdo con Kleinschmit et al. (2007), un exceso de calor durante el proceso de producción de los DDGS puede incrementar la proporción de proteína no disponible para el animal y la lisina es particularmente el AA mas susceptible al daño térmico.

La concentración de lactosa en la leche muestra pequeña variación en vacas sanas y raramente se ve influenciada por la alimentación. Sin embargo, en el trabajo de Westreicher, 2013, se indica que los suplementos proteicos parecen tener una influencia significativa en la producción de lactosa y en su concentración en la leche. La alta concentración de lactosa cuando se alimentan con DDGS puede confirmar la hipótesis de que la lisina no está correctamente equilibrada y no es suficiente para la síntesis de proteína de la leche, ello provoca que exista un exceso de otros AA que se usan para la gluconeogénesis. De forma similar, Liu et al. (2000) encontraron mayor contenido de lactosa en dietas con DDGS y ello estuvo unido a un menor contenido de lisina en sangre. Así mismo, Nichols et al. (1998) encuentran un incremento significativo de lactosa cuando se reemplaza la TS por DDGS. El posible exceso de otros AA diferentes a la lisina resultaría una desaminación de los AA no empleados y una síntesis de urea en el hígado y consecuentemente in incremento de urea en leche. Sin embargo, el aumento de urea en leche es numéricamente más alto pero no estadísticamente significativo cuando las vacas se alimentan con DDGS comparado con una dieta control. Por lo tanto, se puede decir que la gluconeogénesis a partir de estos AA no es lo suficientemente alta para aumentar cuantitativamente el contenido de urea en leche y/o que el exceso de urea resultante durante este proceso pudiera estar compensado con un incremento de uso del N por la flora ruminal para la síntesis de de proteína microbiana. Tal y como indican Baker et al. (1995), la urea en leche es sensible a los cambios en la PB, a la PNDR y a la PDR pero no le afecta un inadecuado balance de AA. De forma similar, Nousiainen et al. (2004) indican que la PB o el N ruminal tiene mas impacto sobre la urea en la leche que los AA absorbidos pero no utilizados para la síntesis de proteína de la leche.

Una cuestión que pudiera influir o explicar el menor contenido de PB y urea en leche en las vacas que consumieron el tratamiento con DDGS de maíz del presente trabajo es el hecho de tener una menor velocidad de degradación del N en el rumen (2,83%/h), así como una DT significativamente inferior (59,63%) frente al resto de tratamientos. A su vez, los DDGS de maíz presentaron un valor mayor de FADIN que pudiera indicar mayor tratamiento térmico de este ingrediente. También puede apreciarse como el valor teórico de la LIS DI de la ración completa que contenía el DDGS de maíz era inferior al resto de los tratamientos

En cuanto a la MSI de las dietas completas, indicar que para el caso de la TC, se la considera con una adecuada apetencia para los rumiantes. Spornly y Asberg, (2006) examinaron la palatabilidad de las fuentes de proteína comparando la velocidad y preferencia del alimento de las novillas. Cuando se alimentaron con una dieta con TC, las novillas consumieron 221 g de TC en los primeros tres minutos, en tanto que las que recibieron TS solo consumieron 96 g, con lo que se demuestra una buena apetecibilidad de la TC. Las razones de este buen sabor no se conocen pero pueden estar relacionadas con el alto contenido de sucrosa. En el presente ensayo, para el consumo de MS no hubo diferencias significativas entre el tratamiento con TC y el resto de los tratamientos.

Cuando se alimenta con TC es importante cerciorarse de que la torta se produce a partir de variedades con bajo contenido de glucosinolatos. Algunas regiones como China y la India siguen produciendo colza y mostaza con niveles relativamente altos de glucosinolatos que pueden reducir la ingestión de alimento. Ravichandiran et al. (2008) indicaron el impacto de ofrecer torta de colza o mostaza con distintos niveles de glucosinolatos a terneros de cinco meses de edad. Los terneros que recibían un pienso con torta de canola con bajo contenido de glucosinato ($<20 \mu\text{mol/g}$) consumieron la misma cantidad que los controles sin torta de canola (1,10 vs. 1,08 kg, respectivamente). Sin embargo, los terneros alimentados con un pienso que contenía torta de mostaza con niveles altos de glucosinolatos ($>100 \mu\text{mol/g}$) sólo consumieron 0,76 kg. En el presente trabajo, la MSI de cada uno de los tratamientos no tuvo diferencias significativas.

Los DDGS de trigo han sido estudiados por varios autores e indican que este ingrediente mantiene o incrementa el consumo de MS (Beliveau y McKinnon, 2009; McKinnon y Walter, 2008; Walter et al., 2010; Gibb et al., 2009). Abdelqader et al. (2013) indican que alimentando a vacas con dietas que contienen DDGS de trigo tienden a incrementar el consumo de MS comparado con dietas en base a TC como fuente principal de proteína. Contrariamente, Gibb et al. (2008) indican que reemplazando cebada por DDGS de trigo en la dietas de terneros ello no afectó al consumo de MS.

Existen varios estudios en los que lo que dietas de vacuno lechero alimentados con DDGS de trigo y bajo diferentes parámetros indican que comparado con las dietas control no afectan de forma negativa a los rendimientos de los animales y, con frecuencia incrementan la reducción de leche, grasa y el consumo de MS.

De manera similar al presente ensayo, Franke et al. (2009), indican que existe un rendimiento semejante en vacas lecheras de alta producción cuando se utiliza una alta proporción de DDGS (constituidos por 90% de trigo y 10% de cebada) en la ración completa comparado con TC empleada como fuente proteica (16,5% de la ración, equivalente a un 37% de la PB). Se produjo un consumo de MS equivalente, misma producción lechera y el porcentaje de GB y lactosa no se modificaron. Contrariamente, Dunkel (2005) indica que hay una menor producción de leche cuando se emplean DDGS y sugiere que puede ser debido a un sobrecalentamiento de los DDGS lo que produce una menor disponibilidad de la proteína y de la energía. El hecho de no producirse calentamiento excesivo y con un periodo de secado corto permitiría tener una mayor disponibilidad de la proteína. El porcentaje de PB en la leche fue menor cuando se usaron DDGS al contrario que en el presente estudio donde el porcentaje de PB en la leche no presentó diferencias entre el tratamiento con TS y DDGS de trigo, aunque Dunkel (2005), Urdl (2006) y Ette (2007) no encontraron diferencias significativas. Schingoethe (2006) indica que, frecuentemente, existe una depresión de proteína debido al empleo de DDGS pero ello puede ser debido a un menor consumo de lisina o a un mayor contenido de GB en la dieta. Al igual que en el presente ensayo, la producción de grasa y proteína en la leche no se modificaron de manera significativa cuando se alimentó con TC o DDGS de trigo. En el ensayo de Franke (2006) tampoco existen diferencias significativas en el contenido de GB, lo mismo que en el caso de otros autores (Dunkel, 2005; Urdl et al., 2006; Ette, 2007). El problema de la reducción de grasa en la leche descrito en el consumo de DDGS (Kononoff y Cristensen, 2007) puede reducirse teniendo en cuenta el total de GB de la ración completa. Tampoco hubo diferencias significativas en el contenido de urea en leche entre ambos tratamientos (DDGS de trigo vs. TC), sin embargo en el presente ensayo sí habíamos encontrado dichas diferencias. En este ensayo, el alto consumo de MS en el grupo con DDGS muestra una buena aceptación de las cantidades de este ingrediente, de tal modo que es similar al presente trabajo y con otros ensayos en los que se estudió la sustitución de TS y una mezcla de TS y TC, TS o TC por DDGS de trigo en donde no se encontraron diferencias en el consumo de MS (Dunkel, 2005; Urdl et al., 2006; Ette, 2007).

De forma similar al presente ensayo, cuando se compara el tratamiento de DDGS de trigo con la TC, Chibisa et al. (2012) observaron que en vacas de alta producción la sustitución de TC por DDGS de trigo en proporciones de 10, 15 y 20% se produjo un aumento lineal de consumo de MS y un incremento de la producción de leche sin que

existieran diferencias en la producción de grasa. Los tratamientos no presentaron diferencias en el porcentaje de GB, proteína, lactosa ni urea en leche. Hubo efectos cuadráticos en la producción de grasa, proteína y lactosa a medida que se incrementa el porcentaje de DDGS en la ración.

En el presente ensayo, ninguno de los tratamientos produjo diferencias significativas en el consumo de MS, aunque las proporciones de cada una de las materias primas empleadas se emplearon en cantidades moderadas.

El porcentaje de TC, DDGS de maíz, DDGS de trigo y TS en la dieta completa fue de 11,4, 14,65, 11,6 y 8,7 % de la MS total ofertada por vaca y día. De manera similar en un ensayo de Urdl et al. (2006) no encontraron diferencias significativas en la MSI entre los DDGS (maíz y trigo) procedentes de 2 plantas de producción de etanol de Austria y el grupo control que contenía una mezcla de TC y TS como suplemento proteico con una base forrajera de silo de hierba y silo de maíz.

En un metanálisis realizado por Huhtanen et al. (2011) con 292 tratamientos de 122 ensayos en vacas lecheras alimentadas con ensilado de hierba en el que la concentración de la PB de la dieta se incrementaba al reemplazar un suplemento energético por el suplemento proteico se producía un aumento del nivel de MSI, pero la respuesta fue mayor cuando se usó torta de canola y torta de canola tostada comparado con la TS ($p < 0,01$). Alimentando con torta de canola y torta de canola tostada se incrementó ($p < 0,01$) la producción diaria de leche comparado con la TS ($3,49 \pm 0,19$ y $3,79 \pm 0,25$ vs. $2,19 \pm 0,25$) por cada kg de ingestión de PB. La respuesta marginal de la producción de proteína en la leche (g/kg de incremento de PB) fue mayor ($p < 0,01$) para la torta de canola (136 ± 54) y torta de canola tostada ($133 \pm 8,5$) comparado con la TS ($98 \pm 8,0$). En el presente trabajo no hubo diferencias significativas en la producción de leche ni en la producción de proteína entre el tratamiento con TC comparado con el de TS.

En otro metanálisis de Martineau et al. (2013) con 88 dietas y de 27 ensayos publicados desde el año 1975 en donde se sustituyó cualquier dieta proteica por TC con un consumo comprendido entre 1 y 4 kg/día, la producción de leche y la producción de proteína respondieron positivamente a la sustitución de la fuente proteica por la TC. La intensidad de la respuesta en la producción de proteína en la leche estuvo afectada por la fuente proteica empleada de tal modo que la respuesta positiva fue menos de la mitad cuando se sustituyó la TS por la TC comparado cuando se sustituyó por otras fuentes proteicas debido, en parte, al aumento del porcentaje de PB en la leche cuando la TC sustituyó a otras fuentes de proteína distintas a la TS. La respuesta en la eficiencia de utilización del N (N en leche /ingestión de N) fue positivo a la sustitución de las fuentes de proteína por TC. Concluyen que un suplemento proteico se puede sustituir por TC con efectos positivos en la producción de leche y en la producción de proteína en leche.

En el presente trabajo no hubo diferencias significativas en la producción de leche ni en la producción de proteína entre el tratamiento con TC comparado con el de TS, sin embargo el porcentaje de PB en leche fue mayor de forma estadísticamente significativa comparado con el tratamiento con DDGS de maíz.

En la tabla 3.16., se muestran los valores medios por período obtenidos en el ensayo de producción para las variables estudiadas. Como se ha dicho, el ensayo duró en total 16 semanas, siendo el valor medio de los días en leche de las vacas en cada uno de los cuatro períodos de 148, 175, 203 y 231 días. No se detectaron diferencias significativas entre las medias de los períodos en cuanto a la ingestión voluntaria de MS de la ración, ni en los porcentajes de GB, PB y urea de la leche. La producción de leche descendió a partir del segundo período (175 días en leche) descendiendo hasta el final del ensayo a una media del 1% por semana. La producción diaria de grasa y proteína también descendieron numéricamente, pero sólo en el último caso esta diferencia fue significativa a partir del segundo período. Se observó asimismo que la eficiencia de transformación de la MSI en leche disminuyó con el avance de la lactación, pasando de 1,4-1,5 kg leche/kg MS en el primer período a 1,29-1,26 en el cuarto. No se observaron diferencias significativas en cuanto a la ganancia media de PV de las vacas en cada período de ensayo.

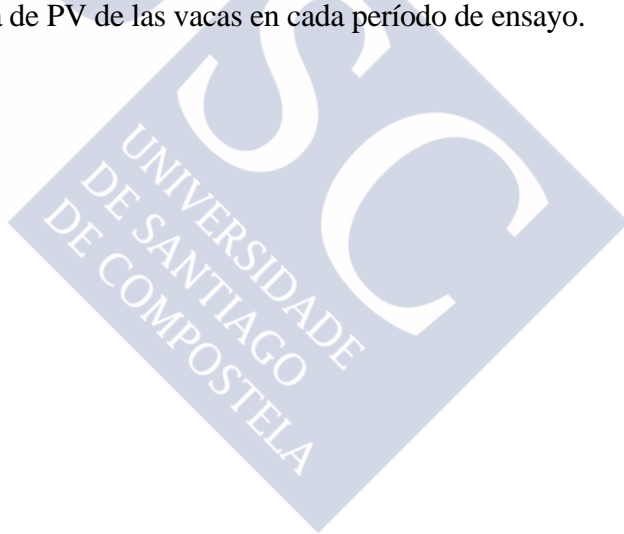


Tabla 3.16. Efecto del período de evaluación sobre la MSI, composición físico-química de la leche, producción y variación de PV de las vacas en el ensayo de alimentación.

	PERIODO (días en leche)				P	stderr
	P1 (148)	P2 (175)	P3 (203)	P4 (231)		
MSI de las dietas completas						
MS ingerida, kg/vaca y día	22,18	23,33	22,96	23,29	0,2815	0,468
Composición de la leche						
MG, %	3,81	3,72	3,80	3,85	0,8160	0,098
PB, %	2,97	3,08	3,03	3,06	0,1356	0,036
Urea, mg/kg	126,78	123,92	123,81	120,24	0,8179	4,902
Producción de leche						
kg leche 3.5% MG/vaca y día	32,65 ^a	32,87 ^a	30,05 ^b	29,91 ^b	0,0134	0,827
kg leche 3.5% MG y 35% PB/vaca y día	31,78 ^a	32,33 ^a	29,42 ^b	29,29 ^b	0,0084	0,774
Producción de grasa y proteína						
kg MG/vaca y día	1,18	1,17	1,08	1,08	0,0863	0,037
kg PB/vaca y día	0,91 ^{ab}	0,97 ^a	0,87 ^b	0,86 ^b	0,0015	0,022
Eficiencia de utilización de la MSI						
kg leche (3.5% MG)/kg MSI	1,52 ^a	1,43 ^{ab}	1,32 ^b	1,29 ^b	0,0146	0,055
kg leche (3.5% MG y 3.5% PB)/kg MSI	1,47 ^a	1,41 ^{ab}	1,29 ^{bc}	1,26 ^c	0,0133	0,051
Variación de PV						
VPV (g/día)	737,7	475	625	725	0,07001	130,5

p: nivel de significación del test F en el ANOVA; s.e.: error estándar de la media

Valores con distinto superíndice de la misma fila son diferentes al nivel de significación p (0,05; 0.01)

3.4. CONCLUSIONES

Existen diferencias entre las materias primas estudiadas en cuanto a su composición y degradabilidad ruminal comparadas con la TS. La TC mostró la menor degradabilidad ruminal de la MS y la MO, mientras que los DDGS de maíz fueron la materia prima que mostró un mayor porcentaje de N no degradable en el rumen y una menor velocidad de degradación de la fracción nitrogenada potencialmente degradable. Los resultados concuerdan con una mayor concentración de lignina en el primer caso y una mayor proporción de N ligado a la fibra ácido detergente en el segundo. Al tratarse de dietas que tendrían los mismos valores de metionina digestible en el intestino similar, ello no ocurre con la lisina digestible en el intestino, de tal modo que las dietas con DDGS de maíz y de trigo son las que menor valor disponen y esta circunstancia pudiera explicar la menor proporción de PB en la leche de los DDGS de maíz y de trigo con respecto a la TC y TS. A ello hay que unir que el porcentaje de FADIN de los DDGS de maíz fue superior al resto de los ingredientes del ensayo. Estas diferencias, sin embargo, no se tradujeron globalmente en efectos significativos en cuanto a la ingestión de la ración y la producción de leche de ni en la producción de grasa y proteína en vacas alimentadas con raciones completas elaboradas con un 35% de concentrados que contenían las diferentes fuentes proteicas estudiadas. Sin embargo, los DDGS de maíz produjeron leche con un menor contenido porcentual en GB y PB comparado con la TC y la TS, que tuvieron un comportamiento productivo muy semejante. Los DDGS de trigo mostraron una respuesta productiva intermedia entre estas materias primas y los DDGS de maíz. Los resultados indican globalmente que, a los niveles de inclusión estudiados, es posible utilizar la TC y los DDGS de trigo y maíz como suplementos proteicos alternativos a la TS en la elaboración de dietas completas para vacas lecheras de potencial productivo moderado, con un gasto reducido de concentrado. Estos resultados podrían ser alterados, sin embargo, si las mismas materias primas estudiadas se ofrecieran en mayor proporción a vacas de alta producción y, sobre todo, si variase la composición y el valor nutricional de dichos suplementos alternativos a la TS en base a la distinta procedencia de los mismos. Para el caso del racionamiento de vacas lecheras con un mayor aporte de DDGS, sean del origen que sean, debería valorarse el contenido de lisina digestible en el intestino y realizar un aporte en la ración para cubrir las necesidades en este nutriente.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Abdelqader, M.M. and Oba, M. 2012. Lactation performance of dairy cows fed increasing concentrations of wheat dried distillers grains with soluble. *J. Dairy Sci.*, **95**, 3894–3904.
- Alexander, R.H. and Mc Gowan, M. 1966. The routine determination of *in vitro* digestibility of organic matter in forages. *J. Br. Grassl. Soc.*, **21**, 140-149.
- Baker, L.D., Ferguson J.D. and Chalupa W. 1995. Response in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **78**, 2424-2434.
- Batal, A. and Dale, N. 2003. Mineral Composition of Distillers Dried Grains with Solubles. *J. Appl. Poult. Res.*, **12**, 400–403.
- Beliveau, R.M. and McKinnon, J.J. 2009. Effect of graded levels of wheat-based dried distillers' grains with soluble on rumen fermentation. *Can.J. Anim. Sci.*, **89**, 513-520.
- Boucher, S.E., Calsamiglia, S., Parsons, C.M., Stein, H.H., Stern, M.D., Erickson, P.S., Utterback, P.L. and Schwab, C.G. 2009. Intestinal digestibility of amino acids in rumen-undegraded protein estimated using a precision-fed cecectomized rooster bioassay: II. Distillers dried grains with soluble and fish meal. *J. Dairy Sci.*, **92**, 6056–6067.
- Canola Council of Canada. 2009. Canola Meal, Feed Industry Guide. 4th edition. Newkirk, R., editor. Winnipeg, Manitoba. Canada.
- Castro, P., González-Quintela, A. y Prada-Rodríguez, D. 1990. Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en muestras de pradera. En Actas de la XXX Reunión Científica de la SEEP. San Sebastián (España). pp. 200-207.
- Castro, P. 2001. Determinación de carbohidratos no estructurales en forrajes. III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes. 7-13 mayo 2000, Bragança-A Coruña-Lugo. pp. 447-453.
- Cao, Z.J., Anderson, J.L. and Kalscheur, K.F. 2009. Ruminal degradation and intestinal digestibility of dried or wet distillers grains with increasing concentrations of condensed distillers solubles. *J. Anim. Sci.*, **87**, 3013-3019.
- Chapoutot, P., Weiss, P. et Morel, F. 2002. Variabilité de composition chimique et dégradabilité de l'azote des dreches de blé. *Renc. Rech. Ruminants*. **7**.
- Cheng, K.J., McAllister T.A. and Rode, L.M. 1993. Use of acidulated fatty acids to increase the rumen undegradable protein value of canola meal. 10th project report. Research on Canola Seed, Oil and Meal. Canola Council of Canada. Winnipeg, Canada.
- Chibisa, G.E., Christensen, D.A. and Mutsvangwa, T. 2012. Effect of replacing canola meal as the major protein source with wheat dried distillers grains with solubles on ruminal function, microbial protein synthesis, omasal flow, and milk production in cows. *J. Dairy Sci.*, **95**, 824-841.

- Chrenková, M., Čerešňáková¹, Z., Formelová, Z., Poláčiková, M., Mlyneková, Z. and Flák, P. 2012. Chemical and nutritional characteristics of different types of DDGS for ruminants. *J. of Anim. And Feed Sci.*, **21**, 425-435.
- Dunkel S. 2005. Fütterung von getrockneter Weizenschlempe am Milchkühen. Disponible desde Internet en: <http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/14695/linkurl_0_4.pdf>
- Ettle, T. 2007. Einsatz industriell erzeugter Proteinfuttermittel (RaPass, Schlempe) in der Milchviehfütterung. Disponible desde Internet en: <https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/3d35ce2b616e77cb7ffe445d26e0c448/Endbericht_Projekt%20100079_Proteinfuttermittel%20Milchvieh%20corr.pdf>
- Franke, K., Meyer, U. and Flachowsky, G. 2009. Distillers dried grains with solubles compared with rapeseed meal in rations of dairy cows. *J. Anim. Feed Sci.*, **18**, 601-612.
- Gibb, D.J., Hao, X. and McAllister, T.A. 2008. Effect of dried distillers' grains from wheat on diet digestibility and performance in feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **88**, 659-665.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA Agriculture Handbook, **379**, 1-12, 20 pp. USA.
- Gruber, L., Stögmüller, G., Taferner, K., Haberl, L., Maierhofer, G., Steiner, B., Steinwider, A., Schauer, A. and Knaus, W. 2005. Protein and carbohydrate fractions of the cornell net carbohydrate and protein system as well as ruminal nutrient degradation in situ of energy and protein concentrates. pp. 129-143. In: *Übersichten zur Tierernährung*, Vol. 33, No. 2.
- Ha, J.K. and Kennelly, J.J. 1984. In situ dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **64**, 443-452.
- Ham, G.A., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Larson, E.M., Shain, D.H. and Huffman, R.P. 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.*, **72**, 3246-3257.
- Harty, S.R., Akayezu, J.M., Linn, J.G. and Cassady, J.M. 1998. Nutrient composition of distillers grains with added solubles. *J. Dairy Sci.*, **81**, 1201.
- Homolka, P., Harazim, J. and Trínáctý, J. 2007. Nitrogen degradability and intestinal digestibility of rumen undegraded protein in rapeseed, rapeseed meal and extracted rapeseed meal. *Czech J. Anim. Sci.*, **52**, (11), 378-386.
- Huhtanen, P., Hetta, M. and Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Can. J. Anim. Sci.*, **91**, 529-543.
- INRA. 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Sauvant, D., Pérez, J.M, et Tran G. Ed. INRA. París. Francia.

- Kalscheur, K.F. Impact of feeding distiller's grains on milk fat, protein, and yield. *9th Annual Symposium of Distiller's grains technology council*. 18 May 2005, Louisville, KY (USA).
- Kajikawa, H., Miyazawa, K., Yanase, A., Tanabe, Y., Tsuchida, Y., Mitsumoto, Y., Kozato, Y. and Mitsumori, M. 2012: Variation in chemical composition of corn dried distillers grains with solubles in relation to *in situ* protein degradation profiles in the rumen. *J. Anim. Sci.*, **83**, 299–304.
- Kelzer, J.M., Kononoff, P.J., Karges, K. and Gibson, M.L. 2007. "Evaluation of Protein Fractionation and Ruminal and Intestinal Digestibility of Corn Milling Co-products." Dakota Gold Research Association. Disponible desde Internet en: <<http://www.dakotagold.org/research/dairy.asp>>
- Kendall, E.M., Ingalls, J.R. and Boila, R.J. 1991. Variability in the rumen degradability and postruminal digestion of the dry matter, nitrogen and amino acids of canola meal. *Can. J. Anim. Sci.*, **71**, 739-754.
- Kleinschmit, D.H., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2006. Evaluation of various sources of corn dried distillers grain plus solubles for lactating cattle. *J. Dairy Sci.*, **89**(12), 4784-4794.
- Kleinschmit, D.H., Anderson, J.L., Schingoethe, D.S., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2007. Ruminal and Intestinal Degradability of Distillers Grains plus Solubles Varies by Source. *J. Dairy Sci.*, **90**, 2909-2918.
- Kluth, H., Engelhard, T. and Rodehutschord, M. 2005a. Zum Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrot in der Fütterung der Hochleistungskuh. *Züchtungskunde* **77**, 58–70.
- Kirkpatrick, B.K. and Kennelly, J.J. 1987. In situ degradability of protein and dry matter from single protein sources and from a total diet. *J. Anim. Sci.*, **65**, 567-576.
- Kononoff P.J. and Christensen D.A. 2007. Feeding dried distillers' grains to dairy cattle. *Proceedings of the 28th Western Nutrition Conference*. 26-27 September 2007, Saskatoon (Canada). pp. 197-205
- Li, C., Li, J.Q., Yang, W.Z. and Beauchemin, K.A. 2012: Ruminal and intestinal amino acid digestion of distiller's grain vary with grain source and milling process. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **175**, 121–130.
- Liu, C., Schingoethe, D.J. and Stegeman, G.A. 2000: Corn distillers grains versus blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **83**, 2075–2084.
- MAPA, 1995. Métodos Oficiales del MAPA. *BOE n° 52, del 2 de marzo*, 7167.
- Martineau, R., Ouellet, D.R. and Lapierre, H. 2013. Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analyses on lactational responses. *J. Dairy Sci.*, **96**, 1701–1714.
- Maxin, G., Ouellet, D.R. and Lapierre, H. 2013. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, and amino acids in soybean meal, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. *J. Dairy Sci.*, **96**, 5151–5160.

- McKinnon, J. J. and Walker, A.M. 2008. Comparison of wheat-based dried distillers' grains with solubles to barley as an energy source for backgrounding cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **88**, 721-724.
- Mulrooney, C.N., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2009: Canola meal replacing distillers grains with soluble for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **92**, 5669-5676.
- Mustafa, A.F., McKinnon, J.J., Ingledew, M.W. and Christensen, D.A. 2000. The nutritive value for ruminants of thin stillage and distillers' grains derived from wheat, rye, triticale and barley. *J. Sci. Food Agric.*, **80**, 607-613.
- Nakamura, T., Klopfenstein, T.J. and Britton, R.A. 1994a. Evaluation of acid detergent insoluble nitrogen as an indicator of protein quality in nonforage proteinss. *J. Anim. Sci.*, **72**, 1043-1048.
- NRC (National Research Council). 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th ed. Ed. National Academy of Science. Washington, DC. USA.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. Ed. National Academy of Science. Washington, DC. USA.
- Nichols, J.R., Schingoethe, D.J., Maiga, H.A., Brouk, M.J. and Piepenbrink, M.S. 1998. Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **81**, 482-491.
- Nousiainen, J., Schingfield, K.J. and Huhtanen, P. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *J. Dairy Sci.*, **87**, 386-398.
- Nuez Ortin, W.G. 2010. Variation and availability of nutrients in co-products from bio-ethanol production fed to ruminants. PhD Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada.
- Nuez Ortin, W.G. and Yu, P. 2010. Estimation of ruminal and intestinal digestion profiles, hourly effective degradation ratio and potential N to energy synchronization of co-products from bioethanol processing. *J. Sci. Food Agric.*, **90**, 2058-2067.
- Nuez Ortín, W.G. and Yu, P. 2010a. Effects of bioethanol plant and coproduct type on the metabolic characteristics of the proteins in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **93**, 3775-3783.
- O'Mara, F.P., Murphy, J.J. and Rath, M. 1997. The amino acid composition of protein feedstuffs before and after ruminal incubation and after subsequent passage through the intestines of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **75**, 1941-1949.
- Orskov, E.R., and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.*, **92**:499-503.
- Palmquist, D.L. and Conrad, H.R. 1982. Utilization of distillers dried grains plus soluble by dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.*, **65**, 1729-1733.
- Pamp, B. W., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R., Schingoethe, D.J. 2006. Evaluation of dried distillers grains versus soybean protein as a source of rumen-undegraded protein for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **89** (Suppl. 1): 403 (Abstr.).

- Piepenbrink, M.S. and Schingoethe, D.J. 1998. Ruminal degradation, amino acid composition and estimated intestinal digestibilities of four protein supplements. *J. Dairy Sci.*, **81**, 454-461.
- Powers, W.J., Van Horn, H.H., Harris, Jr. B. and Wilcox, C.J. 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus soluble on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.*, **78**, 388-396.
- Ravichandiran, S., Sharma, K., Dutta, N., Pattanaik, A.K., Chauhan, J.S., Agnihotri, A. and Kumar, A. 2008. Performance of crossbred calves on supplements containing soybean meal or rapeseedmustard cake with varying glucosinolate levels. *Indian J. Anim. Sci.*, **78**, 85-90.
- Sadeghi, A.A. and Shawrang, P. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and *in vitro* digestibility of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **127**, 45-54.
- Schingoethe, D.J. 2004. Corn co products for cattle. *Proceedings from 40th Eastern Nutrition Conference*. 11-12 May 2004, Ottawa, ON (Canada). pp 30-47.
- Spiehs, M.J., Whitney, M.H. and Shurson, G.C. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.*, **80**, 2639-2645.
- Spörndly, E. and Åsberg, T. 2006. Eating rate and preference of different concentrate components for cattle. *J. Dairy Sci.*, **89**, 2188-2199.
- Stern, M. D., Calsamiglia, S. and Endres, M. I. 1995. Estimates of ruminal degradability and post ruminal digestibility of proteins. *Proceedings Four State Applied Nutrition and Management Conference*. La Crosse, WI, USA.
- Súdekum, K.H, Nibbe, D., Lebzien, P. Steingäß, H. and Soiekers, H. 2003. Comparative evaluation of the protein values of soybean and rapeseed meals by *in vivo*, *in situ* and laboratory methods. In: Towards enlunced value of cruciferous oilseed crops by optimal production and use of high quality seed components. *Proceedings 11th International Rapeseed Congress*. 6-10 July 2003. Copenhagen, Denmark. pp. 1241-1243.
- Todorov, N., Krachunov, I., Djuvinov, D. and Alexandrov, A. 2007. Handbook of animal feeding. Ed. Matkom, Sofia. Bulgaria.
- Urdl, M., Gruber, L. Häusler, J., Maierhofer, G. and Schauer, A. 2006. Influence of distillers grains with solubles (Starprot) in dairy cow feeding. *Slovak J. Anim. Sci.*, **39**, 43-50.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.*, **74**, 3583-3597
- Verité R., Michalet-Doureau B., Chapoutot P., Peyraud J. L. and Poncet C. 1987. Révision du système des protéines digestibles dans intestine (PDI). Bull. Tech. CRZV, INRA, Theix. 70, 19-34.
- Walter, L.J. 2010. Comparison of wheat or corn dried distillers grains with solubles on performance, carcass characteristics, rumen fermentation parameters and diet

digestibility of feedlot cattle. MSc Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon. Canada.

Westreicher, E.K. 2013. Variability of the protein and energy values of european dried distillers'grains with solubles for ruminants. PhD Thesis. Universidad de Hohenheim. Hohenheim. Alemania.

Woods, V.B., Moloney, A.P. and O'Mara, F.P. 2003. The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals. Part II. In situ ruminal degradability of crude protein. *Anim. Feed Sci. and Technol.*, **110**, 131-143.



4. EVALUACIÓN DE LA TORTA DE COLZA Y DDGS DE MAÍZ COMO FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS A LA TORTA DE SOJA EN EL ENGORDE Y ACABADO DE TERNEROS DE RAZA FRISONA EN CEBADERO

4.1. INTRODUCCIÓN

Los productos principales de la industria de producción de biocarburantes son los granos secos de destilería con solubles (DDGS) procedentes de la industria del bioetanol, y la TC y el glicerol de la industria productora de biodiesel. Todos ellos se pueden utilizar en la alimentación animal, siendo considerados los DDGS y la TC materias primas proteicas, potencialmente sustitutivas de la soja. Puesto que la presencia de estas materias primas en los mercados de la UE aumentará de forma sustancial en los próximos años, las fuentes proteicas utilizadas en la formulación de las raciones puede cambiar, lo que exige la caracterización nutricional de dichas materias primas para las diferentes situaciones de producción animal a las que se destinan.

La TC es utilizada ampliamente en raciones de rumiantes, y además de considerarse una materia prima proteica, contribuye a la energía de la ración. Una importante característica del valor nutritivo de la TC en las dietas de rumiantes, es su nivel de degradación en el rumen. Afectando tanto al suministro de N a los microorganismos del rumen, para su transformación en proteína microbiana, como a la cantidad de AA procedentes de la proteína de origen alimenticio que no fue degradada en el rumen y que pueden ser absorbidos directamente en el intestino para la síntesis de proteína en el animal. En estudios científicos realizados se han obtenido ganancias de peso satisfactorias en terneros en la fase posterior al destete cuando la TC era la única fuente proteica de la dieta, no diferenciándose de las obtenidas con harinas de algodón o de soja (Claypool et al., 1985).

La mayor parte de la producción de bioetanol en los USA utiliza maíz como materia prima, mientras que en Europa se utiliza con frecuencia el trigo. Los DDGS tienen una alta concentración de fibra digestible, por lo que los convierte en un alimento ideal para los rumiantes. En estudios científicos realizados, se ha visto que los DDGS de maíz presentan un elevado contenido en aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), con más del 50% de ácido linoleico en su composición, pudiendo afectar la digestibilidad de la fibra y la calidad del producto final al influir sobre el perfil graso de

la carne. Además, los DDGS de maíz presentan un elevado contenido en carotenoides, lo que puede influir en el color de la grasa (Cottrill et al., 2007).

La hipótesis de trabajo que se formula en este estudio, es que en dietas de cebo intensivo de terneros es posible sustituir parcial o totalmente la TS por materias primas procedentes de la industria de fabricación de biocarburantes (DDGS y TC) a partir de granos de cereal y semilla de colza, sin efectos negativos sobre la producción animal ni la calidad de la carne. Para ello, se utilizaron tres piensos de cebo diferentes, en los que se varió únicamente la proporción de la materia prima proteica en la ración: TS, TC y DDGS de maíz.

Evaluar la sustitución parcial de la TS en los piensos de cebo por dichas materias primas alternativas, para estudiar su efecto sobre la MSI y parámetros zootécnicos, así como la composición y calidad organoléptica y nutricional de la carne.

4.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.2.1. Animales y dietas

El estudio experimental se desarrolló durante el año 2012 en las instalaciones del CIAM ubicado en Abegondo, provincia de A Coruña, en el marco del proyecto EMANA financiado por el CDTI.

Se utilizaron 24 terneros machos castrados de raza Holstein de los que uno de ellos hubo que eliminarlo del ensayo al tener un problema serio de acidosis y timpanismo, fue uno correspondiente al tratamiento con TS. El ensayo se inició con un período de arranque (desde 120 a 150 kg de PV) y a continuación el período de cebo (desde los 150 kg hasta los 400 kg de PV), con una duración total comprendida entre los 176 y 182 días. Los animales fueron pesados al inicio de la prueba, quincenalmente y al final del experimento, además de realizar medidas, mediante ecografía, del espesor de la grasa subcutánea, medida *in vivo*, a la altura de la 12ª costilla (GSBT).

Los terneros se alojaron en una nave dotada con sistema de control de alimentación individual Calan-Broadbent (American Calan, Northwood, NH, USA) para registrar el consumo, y distribuyéndose aleatoriamente según su PV en tres lotes (8 animales por tratamiento). Los tratamientos correspondieron a tres piensos diferentes variando la proporción de la materia prima proteica de la ración: TS, TC y DDGS de maíz. La ración estaba compuesta por un 90% de concentrado y un 10% de paja, y fue ofrecida *ad libitum*. Todas las fórmulas fueron isoenergéticas y se tuvieron en cuenta las recomendaciones FEDNA 2008, sobre necesidades nutricionales para rumiantes en cebo. También se tuvo en cuenta la composición de proteína digestible en el intestino

(PDI), así como la proporción de metionina digestible en el intestino (MET DI) y la lisina digestible en el intestino (LIS DI) con el fin de que los tres tratamientos tuvieran la misma composición de dichos nutrientes.

La composición de los concentrados en cuanto a la proporción de las materias primas proteicas y composición analítica teórica de los piensos de arranque (120 a 150 kg) y de cebo (150 a 400 kg) fue la siguiente, tabla 4.1. y tabla 4.2.

Tabla 4.1. Composición de ingredientes de los piensos de arranque (120-150 kg de PV).

	TS	DDGS de maíz	TC
Materias primas (%)			
Maíz	30,0	27,20	30,0
TS 47	21,15	10,50	12,85
Cebada	18,0	18,0	18,0
Trigo	8,50	10,0	8,55
Salvado de trigo	7,30	-	-
DDG-Maíz	-	24,10	-
TC	-	-	18,80
Cascarilla de soja	8,20	4,60	
Pulpa de remolacha	-	-	5,15
Jabón cálcico de palma	2,0	-	2,05
Melaza de caña	1,50	1,50	1,50
Bicarbonato sódico	1,50	1,50	1,50
Carbonato cálcico	0,60	1,30	0,45
Sal	0,50	0,50	0,50
Alimet®	0,14	0,12	0,12
Lysipearl®	-	0,19	0,05
Fosfato monocálcico	0,30	0,10	0,05
Corrector	0,40	0,40	0,40

Alimet®: Análogo hidroxilado de la metionina de NOVUS.

Lysipearl®: Monohidrocloridrato de L-Lisina.

Corrector: Vitamina A: 10.000 UI; Vitamina D3: 2.000 UI; Vitamina E (alfa tocoferol): 40 UI; Hierro: 16 ppm; cobre: 5 ppm; zinc: 80 ppm; manganeso: 40 ppm; selenio: 0,3 ppm; yodo: 0,4 ppm; cobalto: 0,4 ppm.

Tabla 4.2. Composición química teórica de los piensos de arranque (120-150 kg de PV).

Composición química (% sobre MF)			
PB	17,0	17,0	18,0
GB	4,0	4,60	4,0
FB	6,50	6,0	6,0
FND	15,80	16,90	15,0
Almidón	35,0	35,0	34,0
Calcio	0,70	0,70	0,70
P	0,45	0,45	0,45
Cenizas	6,60	6,60	6,50
Lisina DI	7,50 g	7,50 g	7,5 g
Metionina DI	2,42 g	2,42 g	2,42 g
PDIE	110 g	110 g	110 g
UFC	0,99	0,99	0,99

Tabla 4.3. Composición de ingredientes de los piensos de cebo (150-400 kg de PV).

	TS	DDGS de maíz	TC
Materias primas (%)			
Maíz	30,0	27,40	30,0
TS 47	12,95	3,85	6,35
Cebada	18,0	18,0	19,80
Trigo	10,0	10,0	10,0
Salvado de trigo	9,10		
DDG-Maíz	-	22,70	
TC	-		17,70
Cascarilla de soja	4,30	9,15	
Pulpa de remolacha	9,30	3,60	10,0
Jabón cálcico de palma	1,50		1,70
Melaza de caña	1,50	1,50	1,50
Bicarbonato sódico	1,50	1,50	1,50
Carbonato cálcico	0,65	1,20	0,50
Sal	0,50	0,50	0,50
Alimet®	0,09	0,07	0,06
Lysipearl®	-	0,05	-
Fosfato monocalcico	0,20	0,05	-
Corrector	0,4	0,4	0,4

Alimet®: Análogo hidroxilado de la metionina.

Lysipearl®: Monohidrocloridrato de L-Lisina.

Corrector: Vitamina A: 10.000 UI; Vitamina D3: 2.000 UI; Vitamina E (alfa tocoferol): 40 UI; Hierro: 16 ppm; cobre: 5 ppm; zinc: 80 ppm; manganeso: 40 ppm; selenio: 0,3 ppm; yodo: 0,4 ppm; cobalto: 0,4 ppm.

Tabla 4.4. Composición química teórica de los piensos de cebo (150-400 kg de PV).

Composición química (% sobre MF)			
PB	14,0	14,20	15,30
GB	3,50	4,30	3,60
FB	6,70	7,90	6,60
FND	17,70	20,0	16,70
Almidón	36,50	35,0	35,80
Calcio	0,70	0,70	0,70
P	0,40	0,40	0,40
Cenizas	6,40	6,40	6,30
Lisina DI	6,84 g	6,57 g	6,82 g
Metionina DI	2,11 g	2,11 g	2,11 g
PDIE	98 g	98 g	98 g
UFC	0,98	0,98	0,98

El ensayo de cebo seguirá un diseño completamente aleatorizado, con ocho repeticiones (terneros) por tratamiento.

4.2.2. Análisis químico de las muestras de alimento:

Se tomó una muestra mensual de cada tipo de pienso y cada dos meses de paja.

Las determinaciones analíticas realizadas fueron: contenido en MO, PB, GB, FND, FAD, LAD, FADIN, almidón y digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* con inóculo ruminal (DoTT) por el método de Tilley-Terry modificado por Alexander y McGowan (1969). Y además, su perfil de AG desde el C4 al C24 (según el método de extracción y esterificación de Sukhija and Palmquist, (1988) y modificado por Alves, (2008).

4.2.3. Controles y medidas sobre la canal

En el matadero se controló el PCC después del sacrificio del animal, y la clasificación de las canales según su conformación (escala SEUROP) así como el estado de engrasamiento (escala 1-5) según el sistema de clasificación europeo (Reglamento N° 103/2006). A las 24 h *post mortem*, se introdujeron en cámaras de refrigeración (2 °C) para su oreo durante 48 h y se pesaron de nuevo para obtener el peso canal frío (PCF). Se midió sobre la media canal izquierda, el EGD a la altura de la 12ª costilla y a 25 mm del borde lateral del músculo *Longissimus thoracis* utilizando un calibre (Renand and Fisher, 1997). A las 48 h *postmortem* se extrajo de la media canal izquierda, la pieza de lomo entre la 5ª y 12ª costilla.

4.2.4. Análisis de la calidad de la carne

Se diseccionó el músculo *L. thoracis* de las piezas del lomo extraídas de la canal de los terneros y se prepararon para sus determinaciones físico y químicas (pH, contenido de grasa intramuscular, humedad, proteína y cenizas, según Reglamento (CE) 152/2009) y nutricionales (perfil de AG desde el C4-C24 incluyendo ácido linoleico conjugado (CLA) y TVA, según el método de extracción con 2:1 cloroformo:metanol y de Folch et al. (1957). La transmetilación se realiza conforme al método de Carreau and Dubac (1978) y los metil-ésteres de AG son separados por cromatografía de gases utilizando un equipo Varian 3900 GC (Varian Instruments, Walnut Creek, CA, USA) equipado con una columna capilar SP-2560 (Varian 3900, 100 m x 0.25 mm x 0.2 µm) y un muestreador automático Varian 8410, siguiendo el proceso descrito por Moreno et al. (2007).

Además, de la grasa subcutánea de la pieza de lomo, se determinó el color (CIE, 1978) y su perfil de AG (método de transmetilación de Carreau and Dubac, 1978).

4.2.5. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completamente randomizado, utilizando el General Linear Model (GLM) y el PROC MIXED del SAS (SAS Institute Inc., 2006). Para el ensayo de producción y calidad de la canal y la carne se utilizó el modelo $Y_{ij} = \mu + D_i + \varepsilon_{ij}$; donde Y_{ij} representa la observación del tipo de dieta suministrada i sobre cada ternero j para cada una de las variables dependientes (consumo, IC, PV, peso canal, medidas canal, rendimientos, GMD, medidas en la pieza de lomo, composición química y nutricional de los alimentos suministrados a los terneros y de la carne de los terneros) estudiadas; siendo μ la media; D_i es el efecto del tipo de dieta i ($i = 1, 2, 3$); ε_{ij} es el error residual

asociado a la observación *ij*. Si aparecen diferencias ($p < 0,05$) entre los tipos de dietas suministradas, se realizará el test de Duncan.

4.3. RESULTADOS

4.3.1 Composición química de los alimentos suministrados a los terneros

4.3.1.1.- Composición química de los piensos

En la tabla 4.5., se indica la composición química (vía NIRS) y en la tabla 4.6, se indica la composición química por vía húmeda para cada uno de los piensos de arranque suministrados a los terneros.

Tabla 4.5. Medias de la composición química (NIRS) de los diferentes piensos de arranque suministrados a los terneros.

MS (%)	TS	DDGS Maíz	TC
Almidón	37,21	34,39	35,17
FB	5,44	4,09	5,51
PB	19,09	19,31	20,38
GB	3,17	5,06	3,47
Humedad	11,56	10,42	11,77
Cenizas	5,85	5,07	5,31

Tabla 4.6. Medias de la composición química (vía húmeda) de los diferentes piensos de arranque suministrados a los terneros.

MS (%)	TS	DDGS Maíz	TC
MS	90,73	91,20	91,20
MO	93,48	94,14	93,62
PB	18,06	17,97	19,08
GB	3,53	5,37	3,87
FND	23,24	24,02	21,79
FAD	9,86	9,89	10,05
Celulosa	8,38	8,30	7,78
LAD	1,43	1,51	2,46
FADIN	1,66	2,06	2,47

En la tabla 4.7., se muestra la composición química (vía NIRS) para cada uno de los piensos de cebo suministrados a los terneros. Observamos que para el contenido de GB, el pienso con DDGS de maíz presentó los valores significativamente más elevados ($p < 0,001$) (4,64%), seguido de TC (3,21%) y TS (2,98%). El contenido de PB del pienso con TC (17,25%) fue significativamente más elevado ($p < 0,001$) comparado con el de DDGS (16,18%) superando este valor, a su vez, al de TS (15,62%). En cambio, la concentración de almidón en el pienso TS fue significativamente superior ($p < 0,001$) para TS (40,08%), seguida de TC (38,22%) y de DDGS (36,38%). En la tabla 4.8., se indica la composición química por vía húmeda para cada uno de los piensos de cebo.

Tabla 4.7. Medias de composición química (NIRS) de los diferentes piensos de cebo suministrados a los terneros.

MS (%)	TS	DDGS Maíz	TC	F-test
Almidón	40,08 (0,09) ^{‡a} [§]	36,38 (0,24)c	38,22 (0,36)b	***
FB	6,45 (0,08)	6,45 (0,09)	6,45 (0,05)	ns
PB	15,62 (0,10)c	16,18 (0,09)b	17,25 (0,07)a	***
GB	2,95 (0,05)c	4,64 (0,04)a	3,16 (0,04)b	***
Humedad	11,47 (0,14)a	10,60 (0,29)b	11,88 (0,10)a	***
Cenizas	5,16 (0,03)b	4,42 (0,05)c	5,38 (0,05)a	***

[‡]Los valores entre paréntesis indican el error estándar. [§] Las medias en la misma columna que llevan letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) bajo el test Duncan.

Tabla 4.8. Medias de la composición química (vía húmeda) de los diferentes piensos de cebo suministrados a los terneros.

MS (%)	TS	DDGS Maíz	TC
MS	90,78	91,05	90,21
MO	93,53	93,9	93,52
PB	15,49	15,72	16,72
GB	3,20	5,03	3,52
FND	24,44	24,24	21,85
FAD	10,05	10,60	9,90
Celulosa	8,02	9,27	7,71
LAD	1,78	1,31	2,07
FADIN	1,51	2,11	1,63

4.3.1.2.- Composición química de la paja

La tabla 4.9., muestra los resultados de la composición química y de la digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* de los dos tipos de paja suministrada a los terneros (de cebada y de trigo).

Tabla 4.9. Medias de la composición química (vía húmeda) %MS y digestibilidad de la MO *in vitro* de los dos tipos de paja suministrada a los terneros.

	PAJA de CEBADA	PAJA de TRIGO	Medias de las dos PAJAS
MS (%)	90,80	88,80	89,73
MO	93,89	96,07	95,08
PB	2,15	4,23	3,29
FND	82,56	83,52	83,08
FND sin cenizas.	80,65	83,24	82,06
FAD	54,00	54,90	54,49
Celulosa	45,17	45,41	45,30
LAD	5,83	8,92	7,51
SIO ₂	3,00	0,57	1,67
Digestibilidad <i>in vitro</i> de MO	41,68	38,19	39,78

4.3.2. Perfil de AG de los alimentos suministrados a los terneros

4.4.2.1.- Perfil de AG de los piensos

La tabla 4.10., muestra los valores medios resultantes del análisis de los AG de los tres tipos de piensos suministrados a los terneros.

Observamos que el pienso cuya fuente proteica es DDGS presentó unos valores significativamente más elevados en el contenido de ácido linoleico (51,41% para DDGS vs. 38,07% para TS vs. 32,44% para TC, $p < 0,001$) y por tanto del contenido de AG totales omega-6 (n-6) ($p < 0,001$). El contenido de ácidos grasos poliinsaturados totales (PUFA) fue más elevado en los DDGS (53,66% para DDGS vs. 40,68% para TS vs. 35,02% para TC, $p < 0,001$). Además este pienso con DDGS, presentó valores significativamente menores en el ácido linolénico (2,26% para DDGS vs. 2,61% para TS vs. 2,58% para TC, $p < 0,01$), y por tanto en el contenido de AG totales omega-3 (n-3)

($p < 0,01$). Como consecuencia de todo ello, el índice $n-6/n-3$ fue significativamente más elevado para el pienso de DDGS (22,77% para DDGS vs. 14,62% para TS vs. 12,71% para TC, $p < 0,001$). El pienso con DDGS, presentó valores significativamente menores en el ácido palmítico (16,89% para DDGS vs. 29,26% para TS vs. 29,41% para TC, $p < 0,001$), ello influenciado por la utilización de jabón cálcico de palma en las dietas con TC y TS y por tanto en el contenido de ácidos grasos saturados totales (SFA) (20,48% para DDGS vs. 33,26% para TS vs. 33,50% para TC, $p < 0,001$). Como consecuencia de ello, el índice PUFA/SFA fue significativamente más elevado para el pienso de DDGS (2,62% para DDGS vs. 1,22% para TS vs. 1,05% para TC, $p < 0,001$).

El pienso cuya fuente proteica fue la TC presentó unos valores significativamente más elevados en el contenido de ácido oleico (28,93% para TC vs. 24,88% para TS vs. 24,81% para DDGS, $p < 0,001$), de ácido $c11-18:1$ (2,24% para TC vs. 0,80% para TS vs. 0,76% para DDGS, $p < 0,001$) y por tanto de ácidos grasos monoinsaturados totales (MUFA) (31,48% para TC vs. 26,02% para TS vs. 25,85% para DDGS, $p < 0,001$).

Tabla 4.10. Media, error estándar y diferencias significativas del perfil de AG (% de cada AG) de los piensos suministrados a los terneros.

	TS	DDGS Maíz	TC	<i>F-test</i> [†]
12:0	0,28 (0,01) ^{‡b}	0,42 (0,05)a	0,29 (0,03)b	**
14:0	0,43(0,11)a [§]	0,07 (0,03)b	0,59 (0,01)a	**
16:0 (<i>Ac. Palmítico</i>)	29,26 (0,13)a	16,89 (0,10)b	29,41 (0,19)a	***
18:0	2,72 (0,07)a	2,39 (0,06)b	2,65 (0,04)a	**
<i>c9-18:1 (Ac. Oleico)</i>	24,88 (0,10)b	24,81 (0,2)b	28,93 (0,15)a	***
<i>c11-18:1</i>	0,80 (0,01)b	0,76 (0,01)c	2,24 (0,02)a	***
18:2n-6c (<i>Ac. Linoleico</i>)	38,07 (0,24)b	51,41 (0,29)a	32,44 (0,25)c	***
18:3n-3 (<i>Ac. Linolénico</i>)	2,61 (0,03)a	2,26 (0,02)b	2,58 (0,12)a	**
20:0	0,23 (0,04)b	0,36 (0,01)a	0,28 (0,01)b	**
<i>c11-20:1</i>	0,30 (0,01)a	0,28 (0,01)a	0,26 (0,00)b	**
22:0	0,15 (0,01)a	0,16 (0,01)a	0,11 (0,01)b	**
SFA	33,26(0,15)a	20,48 (0,09)b	33,50 (0,24)a	***
MUFA	26,02 (0,10)b	25,85 (0,27)b	31,48 (0,16)a	***
PUFA	40,68 (0,23)b	53,66 (0,31)a	35,02 (0,24)c	***
n-6	38,08 (0,24)b	51,41 (0,29)a	32,44 (0,25)c	***
n-3	2,61 (0,03)a	2,26 (0,02)b	2,58 (0,12)a	**
PUFA/SFA	1,22 (0,01)b	2,62 (0,02)a	1,05 (0,01)c	***
n-6/n-3	14,62 (0,22)b	22,77 (0,13)a	12,71 (0,52)c	***

[‡] Los valores entre paréntesis indican el error estándar. [§] Las medias en la misma fila que llevan letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) bajo el test Duncan. [†] Los símbolos *, **, *** se refieren a que son significativos en $P < 0,05$, 0,01 y 0,001, respectivamente; ns no significativos. PUFA: Total Ácidos Grasos Poliinsaturados; SFA: Total Ácidos Grasos Saturados; MUFA: Total Ácidos Grasos Monoinsaturados;

El Gráfico 4.1 muestra el perfil de los principales AG de los piensos suministrados a los terneros.

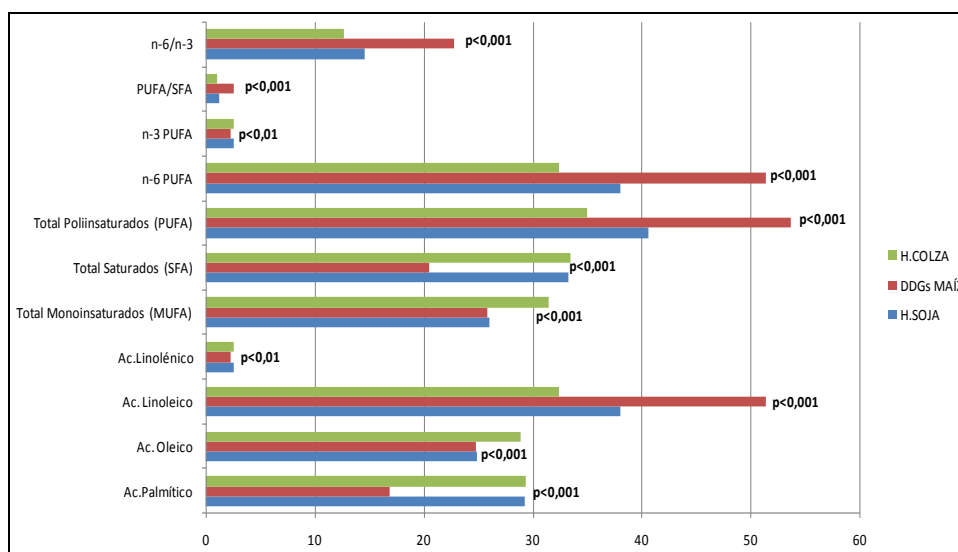


Gráfico 4.1- Perfil de los principales AG de los piensos suministrados a los terneros, % de MG.

4.3.4.2.- Perfil de AG de la paja

Se determinó el perfil de AG de los dos tipos de paja (de cebada y de trigo) suministrada a los terneros durante el ensayo (tabla 4.11.). En la paja de cebada, observamos valores muy elevados de ácido palmítico y por tanto de SFA, y valores bajos de ácido oleico y por tanto de MUFA. La paja de trigo presentó valores más elevados de MUFA.

Tabla 4.11. Medias del perfil de AG (% de cada AG) de los dos tipos de paja suministrada a los terneros.

% sobre MG total	PAJA de CEBADA	PAJA de TRIGO	Medias de las dos PAJAS
8:0	0,13	0,00	0,07
10:0	0,33	0,00	0,19
11:0	1,65	0,66	0,58
12:0	0,53	0,98	1,36
14:0	10,77	2,16	7,08
15:0	0,83	0,71	0,78
16:0 (Ac. Palmítico)	39,41	31,60	36,06
17:0	1,21	0,62	0,96
18:0	4,36	4,10	4,25
c9-18:1 (Ac. Oleico)	8,05	19,23	12,84

% sobre MG total	PAJA de CEBADA	PAJA de TRIGO	Medias de las dos PAJAS
<i>c11-18:1</i>	0,46	1,02	0,70
18:2n-6 (<i>Ac. Linoleico</i>)	17,93	24,46	20,73
18:3n-3 (<i>Ac. Linolénico</i>)	7,41	9,69	8,39
20:0	3,42	1,55	2,62
22:0	2,63	3,02	2,80
22:2n-6	0,89	0,22	0,60
SFA	65,26	45,38	56,74
MUFA	8,51	20,25	13,54
PUFA	26,23	34,37	29,72
n-6	18,82	24,68	21,33
n-3	7,41	9,69	8,39
PUFA/SFA	0,40	0,76	0,52
n-6/n-3	2,55	2,54	2,54

4.3.3 Consumo de los alimentos suministrados a los terneros

Los terneros fueron alimentados con pienso y paja, cuyo consumo ha sido registrado.

4.3.3.1.- Consumo de pienso

En el caso del pienso, se realizó un control del consumo de pienso de forma individual para cada ternero. En la tabla 4.12., se observa que para el consumo total, el grupo de TC, aunque no significativamente, fue el que presentó los valores más bajos, y éstas diferencias sí se observaron de forma significativa en este grupo para el consumo de los terneros de engorde en la fase final (270-400 de PV) (7,30 para TC vs. 8,12 para DDGS vs. 8,24 para TS, $p < 0,05$). Se pueden observar también estas diferencias entre grupos de alimentación en el gráfico 4.2.

Tabla 4.12. Consumo (kg/animal y día) total y por rangos del PV total y por rangos del PV según el tipo de alimentación.

	CONSUMO TOTAL	CONSUMO 120-180 kg PV	CONSUMO 180-270 kg PV	CONSUMO 270-400 kg PV
TS	7,41 (0,26) [‡]	5,36 (0,32)	6,78 (0,26)	8,24 (0,38)a [§]
DDGS MAIZ	7,37 (0,19)	5,45 (0,32)	6,83 (0,26)	8,12 (0,24)ba
TC	6,71 (0,31)	5,19 (0,35)	6,33 (0,37)	7,30 (0,29)b

[‡] Los valores entre paréntesis indican el error estándar. [§] Las medias en la misma columna que llevan letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) bajo el test Duncan.

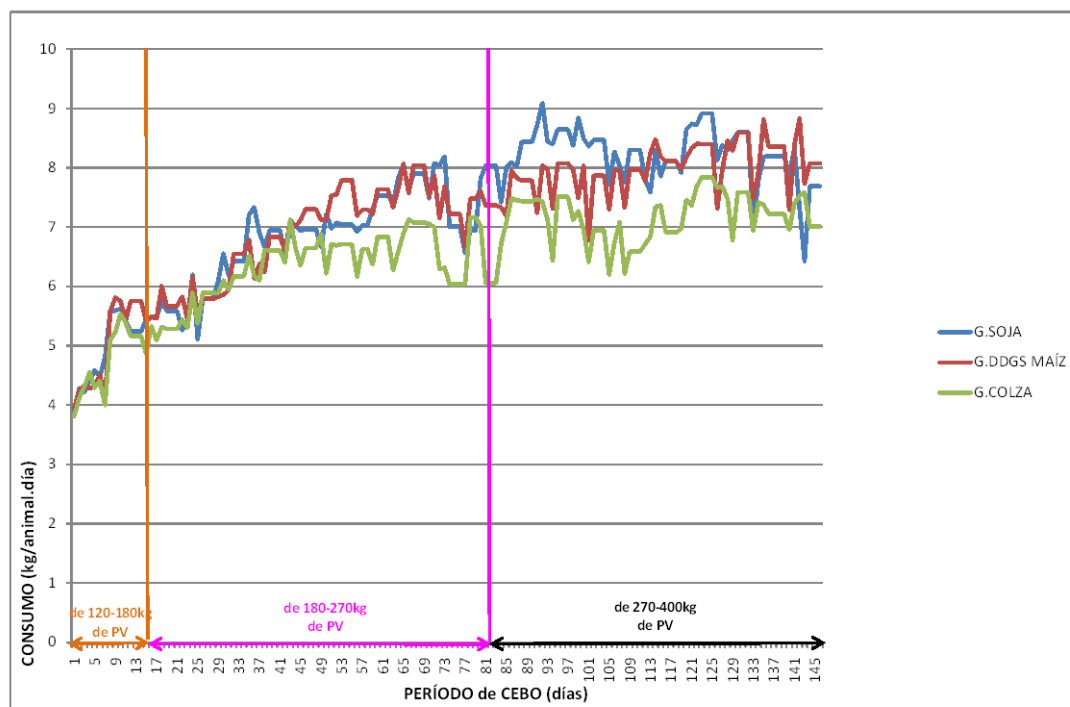


Gráfico 4.2.-Consumo medio a lo largo del periodo de cebo según el tipo de alimentación, kg/animal y día.

4.3.3.2.- Consumo de paja

El control del consumo de la paja no se realizó de forma individual, sino por grupo de animales.

Tabla 4.13. Consumo (kg/animal y día) por rangos del PV de la paja suministrada a los terneros.

	CONSUMO 120-180 kg PV	CONSUMO 180-270 kg PV	CONSUMO 270-400 kg PV
TS	0,56	0,73	1,13
DDGS MAIZ	0,59	0,72	1,25
TC	0,44	0,90	1,23

4.3.4 Medidas del animal en vivo y en canal

En la tabla 4.14., se observa que el peso medio de sacrificio de los terneros fue, aproximadamente, de 408 kg y la duración del periodo de cebo fue de seis meses. Aunque las diferencias no fueron significativas entre los tres tratamientos, observamos que el grupo de TC fue el de menor consumo total (kg/animal y día) de pienso (6,71 para TC vs. 7,37 para DDGS vs. 7,41 para TS) y el que mayor GMD (kg/animal y día) presentó (1,51 para TC vs. 1,46 para DDGS vs. 1,47 para TS). Lo que se traduce, en que

el IC del grupo de TC fue significativamente menor (4,45 para TC vs. 5,06 para DDGS vs. 5,06 para TS, $p < 0,05$) que en los otros dos grupos. Estos tres parámetros zootécnicos de los terneros de ensayo se representaron en el gráfico 4.3. Además observamos, aunque las diferencias no fueron significativas, que el rendimiento de la canal fue más elevado en el grupo de TC.

Los valores medios del GSBT medido sobre el animal *in vivo* en la 12ª costilla, del EGD medido en canal en la 12ª costilla y del engrasamiento de la canal (tabla 4.10.) fueron más elevados, aunque no de forma significativa, en el grupo de TC respecto a los otros grupos de alimentación. Además, los valores medios de la GSBT *in vivo* se correlacionaron muy bien con los valores medios del EGD medidos en canal (*coeficiente de correlación de Pearson* de $r = 0,88$, $p < 0,001$), lo que indicaría que GSBT es un buen predictor del nivel de grasa subcutánea en la canal.

Esta correlación entre estos parámetros, ya se observó en el estudio de Moreno et al. (2012) con animales muy engrasados.

Tabla 4.14. Medias de las características y medidas del animal en vivo y canal, según el tipo de alimentación.

	TS	DDGS MAÍZ	TC
Nº Animales	7	8	8
MEDIDAS IN VIVO			
Peso Inicio (kg)	143,43 (3,39) [‡]	149,50 (5,16)	146,38 (3,93)
Peso Sacrificio (kg)	408,14 (4,17)	408 (3,71)	409,50 (6,40)
Período cebo (días)	182 (8,91)	178,5 (7,59)	175,88 (6,93)
Consumo Total (kg/animal y día)	7,41 (0,26)	7,37 (0,19)	6,71 (0,31)
GMD (kg/animal y día)	1,47 (0,06)	1,46 (0,04)	1,51 (0,06)
IC	5,06 (0,14)a [§]	5,06 (0,12)a	4,45 (0,18)b
Edad Sacrificio (días)	313 (10,45)	324,88 (16,39)	324,13 (18,01)
GSBT 12ª costilla (cm)	0,72 (0,02)	0,67 (0,03)	0,73 (0,02)
MEDIDAS EN CANAL			
Peso Canal (kg)	209 (3,63)	202,75 (2,49)	208,75 (4,56)
Rendimiento Canal (%)	51,20 (0,62)	49,69 (0,34)	50,96 (0,55)
Conformación, escala SEUROP	5,0 (0)	4,75 (0,16)	5,0 (0)
Engrasamiento	7,0 (0,54)	6,88 (0,48)	7,13 (0,48)
EGD 12ª costilla (cm)	0,70 (0,01)	0,66 (0,05)	0,73 (0,03)

[‡] Los valores entre paréntesis indican el error estándar. [§] Las medias en la misma fila que llevan letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) bajo el test Duncan. GMD; GSBT; EGD.

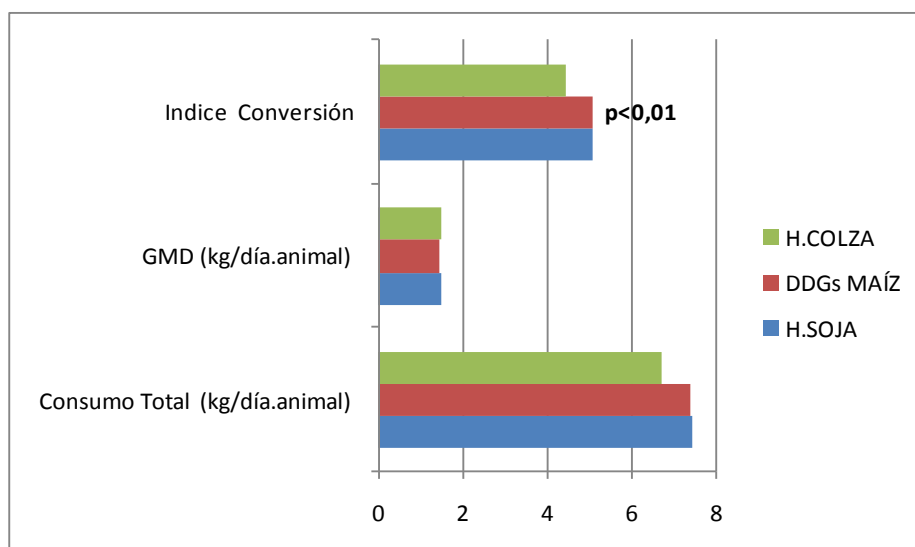


Gráfico 4.3.- Medias de algunas características zootécnicas según el tipo de alimentación

4.3.5 Medidas de la pieza del lomo

Se despiezó la pieza de lomo de la canal de los terneros, presentando un peso medio de 2,84 kg. El valor medio del peso del músculo *Longissimus thoracis* diseccionado de la pieza de lomo, presentó valores significativamente diferentes entre los tres grupos de animales, correspondiendo el valor más elevado al grupo de TC (1,52 kg para TC vs. 1,36 kg para DDGS vs. 1,43 kg para TS, $p<0,05$). De la misma forma, aunque no significativamente, el grupo de TC presentó valores más elevados para el área y el diámetro mayor del *L. thoracis* en la 12ª costilla, tabla 4.15.

Tabla 4.15. Medias de medidas realizadas sobre la pieza de lomo, según el tipo de alimentación.

	TS	DDGS Maíz	TC
Nº Animales	7	8	8
Peso Pieza Lomo (kg)	2,85 (0,13) [‡]	2,80 (0,17)	2,88 (0,08)
Peso <i>L. thoracis</i> (kg)	1,43(0,06)ba [§]	1,36 (0,06)b	1,52 (0,03)a
Área <i>L. thoracis</i> en 12ª costilla (cm ²)	55,13 (4,24)	56,70 (2,36)	60,94 (4,99)
Diámetro Mayor <i>L. thoracis</i> 12ª costilla (cm)	11,92 (0,55)	13,21 (0,36)	13,67 (1,13)

[‡] Los valores entre paréntesis indican el error estándar. [§] Las medias en la misma fila que llevan letras distintas son significativamente diferentes ($p<0,05$) bajo el test Duncan.

4.3.6. Composición química del *L. thoracis* del lomo de los terneros

La tabla 4.16 muestra la composición química del músculo *L. thoracis* de los terneros según el tipo de pienso consumido. Observamos que con los dos métodos de extracción de la grasa intramuscular del músculo del ternero (método oficial RCE 152/2009 y método de Folch et al., 1957) los valores se correlacionaron muy bien (coeficiente de correlación de Pearson de $r = 0,76$, $p < 0,001$).

Aunque las diferencias entre grupos no fueron significativas para la composición química del músculo del animal, fueron los terneros que consumieron DDGS de maíz, los que presentaron los valores más bajos de grasa intramuscular y más elevada de proteína. Esta falta de diferencias entre grupos de alimentación para la composición química, coincide con los resultados de los estudios de Barton et al. (2007) y Juárez et al. (2012) cuando suplementaron a los animales con diferentes tipos de piensos enriquecidos en oleaginosas.

Tabla 4.16. Medias de la Composición Química del *L. thoracis* de los terneros según el tipo de alimentación.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	TS	DDGS Maíz	TC	F-test
Humedad (%)	74,89 (0,52)	65,99 (9,04)	74,91 (0,50)	ns
Proteína (%)	21,04 (0,29)	28,15 (6,70)	21,68 (0,28)	ns
Cenizas (%)	1,17 (0,01)	3,96 (2,51)	1,16 (0,03)	Ns
Grasa ¹ (%)	3,09 (0,63)	1,97 (0,34)	2,31 (0,57)	ns
Grasa ² (%)	2,48 (0,54)	1,98 (0,32)	2,47 (0,54)	ns

¹Analizada por gravimetría según RCE 152/2009. ² Analizada por método de Folch et al. (1957).

4.3.7. Análisis físico del lomo y grasa subcutánea de los terneros

El pH de la carne de los terneros no presentó diferencias significativas entre grupos de alimentación (tabla 4.17.), al igual que en el estudio de González et al. (2012) con terneros con diferentes tipos de piensos con oleaginosas. Sin embargo, hay que destacar que mientras que la carne de los terneros de TS y DDGS presentaron unos valores medios muy parecidos al rango normal de la carne ($\text{pH} \leq 5,8$) según Garrido y Bañón, (2001) el grupo de TC presentó valores algo más elevados ($\text{pH} = 6,07$). Estos valores de pH en la carne se asocian con una carne menos aceptable para el consumidor (Viljoen, Kock, & Webb, 2002) desde el punto de vista sensorial, por su coloración más oscura.

Por lo que observamos en la tabla 4.17., el color de la grasa subcutánea de la carne, presentó valores significativamente ($p < 0,05$) más elevados en los terneros alimentados

con DDGS de maíz frente a los otros grupos para el índice de rojo, amarillo y cromaticidad, lo que se refiere a que la grasa presenta una coloración más roja, amarilla, saturada y brillante.

El mayor índice de amarillo de la grasa de terneros alimentados con DDGS de maíz, se debe principalmente al elevado nivel de cromógenos vegetales (carotenoides y xantofilas) de esta fuente de alimentación (Cottrill et al., 2007) que se acumulan en los lípidos subcutáneos (Albertí et al., 1999) del animal, favoreciendo la coloración amarillenta de la grasa (Bidner et al., 1986). Resultados similares mostraron Varela (2002) y Oliete (2003) en su estudio con Rubia Gallega.

Aunque para el parámetro de luminosidad de la grasa, las diferencias no fueron significativas entre grupos, sí que observamos que los valores más bajos encontrados en los terneros de TC (71,30 para TC vs. 72,38 para TS vs. 73,21 para DDGS) indican una grasa menos brillante y más oscura, lo que coincide con los valores más elevados de pH y su peor valoración sensorial (arriba ya comentado).

Tabla 4.17. Medias de parámetros físicos de la grasa subcutánea de los terneros según el tipo de alimentación

	TS	DDGS Maíz	TC	F-test
Nº Animales	7	8	8	
pH <i>L. thoracis</i>	5,79 (0,12)	5,80 (0,05)	6,07 (0,12)	ns
COLOR Grasa subcutánea	72,38 (1,16) [‡]	73,21 (0,89)	71,30 (0,50)	ns
Luminosidad				
Índice de Rojo	7,25 (0,43)ba [§]	7,99 (0,98)a	5,34 (0,34)b	ns
Índice de Amarillo	8,50 (0,50)ba	9,57 (0,73)a	7,26 (0,54)b	ns
Cromaticidad	11,19 (0,61)ba	12,53 (1,14)a	9,03 (0,60)b	ns
Tono	49,54 (1,25)	50,95 (2,02)	53,49 (1,42)	ns

[‡] Los valores entre paréntesis indican el error estándar.

[§] Las medias en la misma fila que llevan letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$) bajo el test Duncan

El gráfico 4.4 muestra los parámetros del color de la grasa subcutánea según el tipo de alimentación de los terneros.

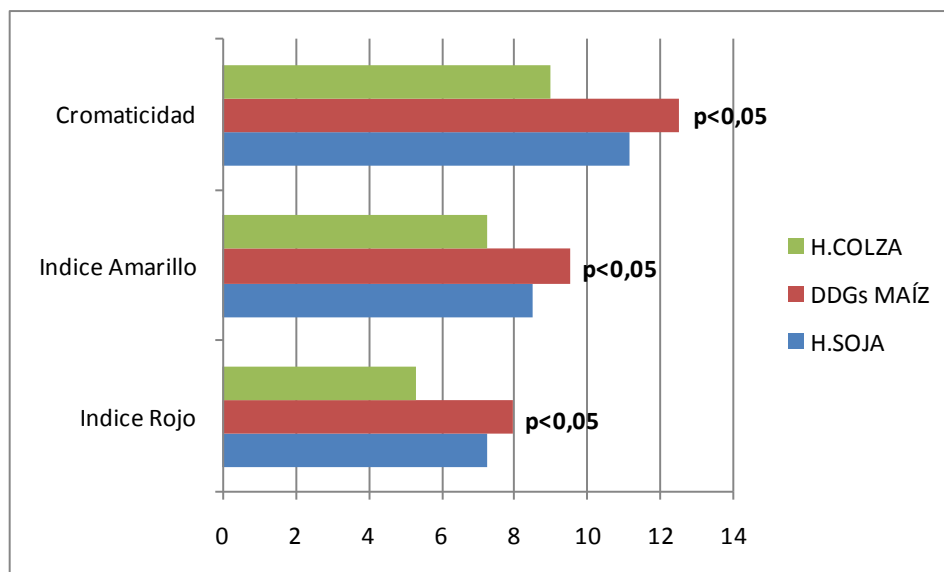


Gráfico 4.4. Medida del color de la grasa subcutánea según el tipo de alimentación.

4.3.8. Perfil de AG de la grasa subcutánea del lomo de los terneros

La tabla 4.18., muestra los valores medios resultantes del análisis de AG de la grasa subcutánea del lomo de los terneros alimentados con tres tipos de piensos.

Observamos que el grupo de animales que consumieron pienso cuya fuente proteica fueron los DDGS, presentaron en la grasa subcutánea unos valores significativamente más elevados en el contenido de ácido linoleico (3,70% para DDGS vs. 2,46% para TS vs. 2,50% para TC, $p < 0,001$) y por tanto del contenido de AG totales omega-6 (n-6) ($p < 0,001$). Además, esta fuente de alimentación con DDGS se caracteriza también por presentar significativamente un elevado contenido en CLA (0,08% para DDGS vs. 0,07% para TS vs. 0,07% para TC, $p < 0,05$). Por lo que el contenido de ácidos grasos poliinsaturados totales (PUFA) fue más elevado en los DDGS (4,11% para DDGS vs. 2,76% para TS vs. 2,87% para TC, $p < 0,001$). Estos resultados encontrados en el perfil de AG de la grasa subcutánea, coinciden con el estudio de alimentación de terneros castrados con DDGS de maíz a diferentes niveles de suplementación de Aldai et al. (2010). Además, los animales alimentados con DDGS, presentaron valores significativamente menores de ácido palmítico (27,58% para DDGS vs. 30,30% para TS vs. 30,34% para TC, $p < 0,001$), pero estas diferencias no fueron significativas para el contenido de ácidos grasos saturados totales (SFA). Esta falta de respuesta de la inclusión de DDGS en la dieta del animal sobre el contenido de SFA en su grasa subcutánea, coincide con los resultados del estudio de Gill et al. (2008). Los índices PUFA/SFA y n-6/n-3 fueron significativamente más elevados para el grupo de animales alimentados con DDGS (0,08% para DDGS vs. 0,06% para TS vs. 0,06% para

TC, $p<0,001$) y (21,43% para DDGS vs. 17,07% para TS vs. 13,37% para TC, $p<0,001$), respectivamente.

Los terneros del grupo de DDGS de maíz presentaron significativamente un mayor contenido del total de AG *trans* (que incluyen los *trans*-MUFA y otros *c,t*-/*t,t*-*dienos*) respecto a los otros grupos de alimentación (13,29% para DDGS vs. 8,71% para TS vs. 7,08% para TC, $p<0,001$). El mayor contenido de isómeros *trans*-18:1 totales e individuales en la grasa subcutánea de animales alimentados con DDGS de maíz, coinciden con los estudios de Vander Pol et al. (2009) y Aldai et al. (2010) en los que alimentan bovinos con DDGS de maíz.

El grupo de animales que consumieron pienso cuya fuente proteica es TC, presentaron en la grasa subcutánea unos valores significativamente más elevados en el ácido linolénico (0,19% para TC vs. 0,15% para TS vs. 0,16% para DDGS, $p<0,05$), y por tanto en el contenido de AG totales omega-3 (n-3) ($p<0,05$), y también valores más elevados en el ácido oleico (31,62% para TC vs. 31,45% para TS vs. 27,31% para DDGS, $p<0,05$).



Tabla 4.18. Media, error estándar y diferencias significativas del perfil de AG (% de cada AG) de la grasa subcutánea de los terneros según el tipo de alimentación.

	TS	DDGS MAÍZ	TC	F-test†
12:0	0,08 (0,0)‡	0,09 (0,01)	0,09 (0,01)	ns
14:0	4,33 (0,15)	4,54 (0,24)	4,67 (0,21)	ns
14:1	1,04 (0,14)ba [§]	0,81 (0,05)b	1,44 (0,19)a	**
15:0	0,83 (0,04)	0,83 (0,03)	0,75 (0,02)	+
16:0 (Ac. Palmítico)	30,30 (0,43)a	27,58 (0,35)b	30,34 (0,36)a	***
C9-16:1n-7	4,36 (0,38)	3,19 (0,19)	4,28 (0,67)	ns
17:0	1,73 (0,09)a	1,68 (0,06)a	1,22 (0,19)b	*
17:1	0,15 (0,01)	0,11 (0,01)	0,40 (0,15)	+
18:0	12,31 (0,87)	14,36 (0,67)	12,99 (0,87)	ns
t6t9-18:1	0,63 (0,13)b	1,05 (0,13)a	0,72 (0,05)b	*
t10-18:1n-9t	7,13 (1,17)b	10,70 (1,18)a	5,15 (0,68)b	**
t11-18:1 (TVA)	0,54 (0,15)b	1,05 (0,19)a	0,80 (0,09)ba	+
t12-C18:1	0,28 (0,03)b	0,40 (0,02)a	0,35 (0,02)a	**
C9-18:1 (Ac. Oleico)	31,45 (1,68)a	27,31 (1,08)b	31,62 (1,01)a	*
C11-18:1	1,49 (0,06)b	1,23 (0,04)c	1,78 (0,04)a	***
C12-18:1	0,30 (0,03)b	0,73 (0,03)a	0,26 (0,03)b	***
18:2n-6t	0,08 (0,01)	0,10 (0,02)	0,07 (0,01)	ns
18:2n-6c (Ac. Linoleico)	2,46 (0,23)b	3,70 (0,26)a	2,50 (0,14)b	***
18:3n-3 (Ac. Linolénico)	0,15 (0,01)b	0,16 (0,01)ba	0,19 (0,01)a	*
CLA	0,07 (0,01)b	0,08(0,00)a	0,07 (0,01)b	*
C11-20:1n-9	0,20 (0,02)a	0,15 (0,01)b	0,17 (0,02)ba	+
SFA	49,64 (1,00)	49,14 (0,68)	50,11 (1,06)	ns
MUFA	46,57 (1,08)	46,73 (0,62)	47,02 (1,17)	ns
trans-MUFA	8,63 (1,07)b	13,19 (1,06)a	7,01 (0,74)b	***
trans-FA	8,71 (1,07)b	13,29 (1,06)a	7,08 (0,74)b	***
PUFA	2,76 (0,24)b	4,11 (0,27)a	2,87 (0,14)b	***
n-6	2,55 (0,23)b	3,84 (0,26)a	2,60 (0,13)b	***
n-3	0,15 (0,01)b	0,18 (0,01)ba	0,20 (0,01)a	*
PUFA/SFA	0,06 (0,01)b	0,08 (0,06)a	0,06 (0,00)b	***
n-6/n-3	17,07 (0,47)b	21,43(1,27)a	13,37 (0,49)c	***

trans-MUFA: Total Ácidos Grasos Monoinsaturados trans. trans-FA: Total Ácidos Grasos trans.

El gráfico 4.5 muestra el perfil de los principales AG de la grasa subcutánea del lomo de los terneros.

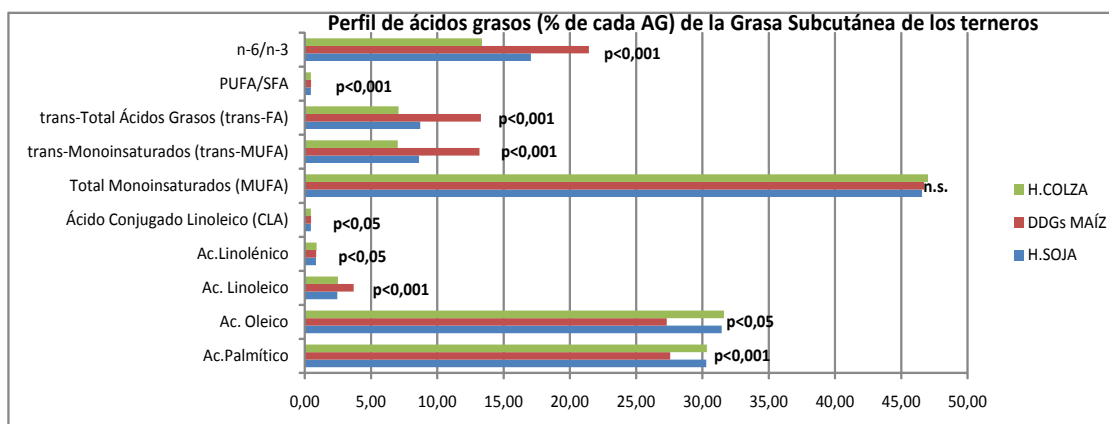


Gráfico 4.5. Perfil de los principales AG de la grasa subcutánea del lomo de los terneros.

4.4. DISCUSIÓN:

Claypool et al. (1985) encontraron que terneras Holstein de 45 días de vida aumentaban la velocidad de crecimiento de 0,6 a 0,9 kg/día cuando se le ofrecía un pienso de arranque cuya fuente proteica principal fue la TC durante un periodo de siete semanas antes del destete y ocho semanas después del destete, respectivamente. El rendimiento de las terneras alimentadas con TC fue semejante al de las alimentadas con raciones de arranque en base a torta de semilla de algodón o TS. Hill et al. (1990) indicaron que el empleo de TC no afectó al consumo de alimento ni a los rendimientos productivos comparado con la TS en terneros de 160 kg de PV, tal y como ocurrió en el presente trabajo.

Petit y Veira, (1994) mostraron que la TC dio un valor mayor de GMD en novillos de razas de carne con un peso de 225 kg en dietas isoproteicas. Los valores de la canal tampoco se vieron afectados por las diferentes fuentes proteicas empleadas. En el presente ensayo, todos los tratamientos fueron similares en los parámetros productivos, excepto para el IC, en donde la TC tuvo mejor resultados, en los parámetros correspondientes a la canal, tampoco se presentaron diferencias.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son compatibles con los de Paquay et al. (1999) ya que tampoco obtuvieron diferencias significativas en los rendimientos productivos (GMD, consumo de alimento, IC, peso de la canal y rendimiento de la canal) de terneros en periodo de acabado (desde los 280 kg a 650 kg de peso al sacrificio) al emplear TC al 20% frente a un tratamiento control, solo se presentaron diferencias significativas en el peso al sacrificio donde el tratamiento con TC resultó

inferior. Estos mismos autores indican que cuando se emplea TC al 10, 20, 34% en el concentrado de terneros frente a un control sin TC, tampoco se presentaron diferencias significativas en los parámetros estudiados (GMD, IC, peso al sacrificio, peso de la canal y rendimiento de la canal).

Hinman et al. (1999) indicaron que empleando TC, con distintos niveles de incorporación, frente a distintas proporciones de urea, no encontraron diferencias significativas en dietas de acabado para la GMD (en este ensayo se emplearon diversas combinaciones de urea y TC), aunque encontraron diferencias en la eficiencia del alimento con la incorporación del 25% de TC en el pienso que complementa una ración con cebada y un residuo de procesado de la patata. Sin embargo, la superficie del lomo fue mayor en el caso de 100% TC que sin TC y el grado de infiltración de la grasa fue superior para el caso sin TC comparado con 50 o 75% de TC. El rendimiento de la canal fue superior cuando se usó un 25% de TC comparado con 0, 50 o 100%. En el presente ensayo, la TC no presentó diferencias entre tratamientos en las medidas del animal en vivo ni en la canal, excepto para el IC, que fue mejor en el tratamiento con TC respecto a los de DDGS y TS.

Del mismo modo que en el presente trabajo, Koenig y Beauchemin (2005) indicaron que al emplear TC en raciones basadas en grano de maíz, la TC dio como resultado un aumento de peso similar al del control isoproteico (1,48 kg/d vs. 1,40 kg/día, respectivamente).

En un trabajo de He et al. (2013) indican que en raciones de ensilado de cebada y grano de cebada, la sustitución de parte del grano de cebada por distintos niveles de TC (15 y 30%) obtenida por solventes y procedente de *B. napus* y *B. juncea* comparada con TC obtenida a partir de *B. napus* por presión no se produjeron diferencias significativas en los rendimientos productivos (GMD y consumo de alimento). La inclusión de TC al 30% empeoró de forma significativamente el IC con respecto a la dieta control, también en el caso del tratamiento sin TC y frente a la inclusión de TC del 15%. De manera similar al presente ensayo, ninguno de los tratamientos afectó a los parámetros de la canal (PCC, el porcentaje de grasa, la superficie del lomo, proporción de magro y el grado de infiltración de la grasa). La inclusión de TC obtenida por solventes a niveles del 15 y 30% no alteró la calidad de la canal. El tratamiento con TC obtenida por presión a niveles del 30% incrementó de forma significativa el contenido en CLA de la carne. La sustitución del grano de cebada por TC como fuente de energía a niveles superiores del 15% de la dieta sobre MS produjo un efecto adverso sobre la eficiencia del alimento. Además, si se usan niveles altos de TC obtenida por presión se producían pequeños cambios en el perfil de AG de la carne.

De manera similar a como ocurre en el presente trabajo, en un ensayo de Yossifov, 2014 se indica que corderos alimentados con la TG frente a TC (ambos al 27% sobre

MS) en dietas isocalóricas e isoproteicas, los animales alimentados con TC tuvieron mayor proporción de ácido linolénico (C18:3) y mayor ratio C18:3/CLA, sin embargo disminuyó el ratio C18:2/C18:3 comparado con la TG. Concluye que los animales alimentados con TC reducen la cantidad de AG saturados, y poliinsaturados e incrementa los monoinsaturados, el total insaturados y los AG deseables de la canal.

En cuanto a los DDGS de maíz, indicar que en un estudio de Buckner et al. (2007) evaluaron el efecto de incrementar los niveles de DDGS en dietas de acabado de novillos y no observaron efectos sobre consumo de MS, el espesor de la grasa subcutánea en la 12ª costilla, el área del músculo del lomo, ni en la infiltración de grasa. Sin embargo, estos autores observaron un efecto cuadrático sobre la GMD y el PCC y una tendencia cuadrática sobre el IC. Klopfenstein et al. (2008) también observaron un efecto cuadrático sobre la GMD cuando se incrementan los niveles de DDGS de maíz y un efecto cúbico en el ratio G:F. De acuerdo con este metanálisis, el máximo valor en la GMD se corresponde con la inclusión de 10 a 20% de DDGS de maíz en la dieta. El nivel de incorporación de DDGS del presente durante el periodo de engorde (150 a 400 kg) es del 20% sobre la MS ingerida, aproximadamente, que es el valor en el que este metanálisis proporciona el mejor dato de GMD. Sin embargo, en el presente ensayo no existieron diferencias en el consumo de alimento entre tratamientos durante el conjunto del periodo. En la tabla 4.19, se indica los parámetros de producción y de calidad de canal del estudio de Brickner et al. (2007) al ir incrementando el nivel de DDGS de maíz en la dieta de novillos.

Tabla 4.19. Rendimientos productivos y características de la canal de crecimiento de novillos cuando se incrementa el nivel de DDGS de maíz en la dieta. Brickner et al. (2007).

	DDGS 0%	DDGS 10%	DDGS 20%	DDGS 30%	DDGS 40%
Consumo de MS, kg/d	9,25	9,47	9,52	9,71	9,47
GMD, kg	1,50	1,61	1,68	1,62	1,59
G:F	0,162	0,171	0,177	0,168	0,168
Feeding value ¹ , %	100	156	146	112	109
PCC, kg	351	362	370	364	359
EGD, cm	1,42	1,37	1,50	1,40	1,47
Área del músculo L. thoracis, cm ²	80,0	80,6	82,6	81,3	81,3
Grado de infiltración de la canal ²	533	537	559	527	525

¹Valor relativo al maíz, se calcula por diferencia en G:F dividido por el porcentaje de inclusión de los DDGS de maíz en la dieta.

²Grado de infiltración de la canal: Ligero = 400, pequeño = 500.

La cantidad y digestibilidad de la grasa insaturada en el duodeno fue mayor en novillos alimentados con DDGS de maíz frente a la empleada con aceite de maíz, ello sugiere que parte de la grasa de los DDGS de maíz puede estar protegida de la hidrogenación ruminal (Vander Pol et al., 2007). Depenbusch et al. (2009) indicaron que el ratio de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y ácidos grasos saturados (SFA) en la canal de terneros se incrementa cuando aumenta la cantidad de DDGS de maíz, este hecho es similar al del presente ensayo de tal modo que los terneros que consumieron DDGS de maíz mostraron dicho efecto.

Leupp et al. (2009) evaluaron los efectos del incremento de los niveles de DDGS de maíz sobre la ingestión, digestión, y la fermentación ruminal en novillos alimentados con un 70% de concentrados en donde el maíz aplastado podía ser reemplazado hasta un 60% por DDGS sin efectos negativos sobre la digestibilidad de la MO. Sin embargo, la ingestión de MO se redujo cuando los DDGS se añaden a la dieta en un 60%. Concluyeron que añadiendo un 45% de DDGS en dietas de crecimiento de novillos se maximizaba la digestión y la fermentación ruminal. Tampoco encontraron diferencias en el crecimiento ni en las características de la canal cuando los novillos fueron alimentados con 0 o 30% de DDGS durante el periodo de crecimiento y acabado. En el presente ensayo se usó niveles de DDGS de 24 y 22% en el pienso consumido por lo que los resultados son compatibles con los encontrados por este autor. La infiltración de grasa de la carne no se vio afectada por la dieta, pero la carne de los novillos que consumieron DDGS durante el periodo de acabado fue más jugosa y de mejor sabor. Ello sugiere que los DDGS se pueden incluir al 30% de la MS durante el periodo de crecimiento y acabado reemplazando el maíz sin detrimento de los rendimientos productivos, las características de la canal o los atributos organolépticos de la carne. Sin embargo, empleando DDGS al 30% puede afectar de forma negativa al color de la carne. De manera similar, Segers et al. (2011) mostraron que la composición y terneza del *L. thoracis* no se afectó por las dietas que contenían 25% de DDGS de maíz o gluten feed comparado con la dieta con TS.

De manera similar, en un trabajo de Meyer et al. (2010) al comparar TC y DDGS de trigo con TS en raciones con ensilado de maíz y con dietas isoenergéticas e isoproteicas en engorde de terneros de raza Holstein con un peso inicial de 240 kg de PV y sacrificados con 558 kg no observaron diferencias significativas en el consumo de MS ni en la GMD entre las distintas materias primas empleadas, salvo en la GMD del tratamiento de DDGS comparado con el tratamiento de DDGS + TC, aunque los DDGS eran de trigo, la comparativa entre la TC y la TS sirve para esta discusión.

Roeber et al. (2005) evaluaron el color, la terneza y las características sensoriales de lomo de terneros en dos experimentos en los que se alimentaron con granos de

destilería húmedos y secos a novillos Holstein a niveles de hasta el 50% de la ración. No hubo diferencias en la suavidad, sabor o jugosidad. Del mismo modo, Jenschke et al. (2006) mostraron que los animales en periodo de acabado alimentados con dietas que contenían hasta el 50% de granos húmedos de destilería (sobre MS) produjeron carne que no difería en terneza, cantidad de tejido conectivo, jugosidad o intensidad de sabor desagradable. Gordon et al. (2002) alimentaron a novillas en periodo de acabado con dietas que contenían 0, 15, 30, 45, 60 o 75% de DDGS de maíz durante 153 días de estudio y observaron que hubo un pequeño mejoramiento lineal en la suavidad de la carne de los animales alimentados con cantidades crecientes de DDGS de maíz.

De manera contraria al presente ensayo, en un trabajo de Wajda et al. (2012) con terneros frisonos desde los 106 kg de PV hasta los 570 kg alimentados de forma intensiva con heno y paja y con un concentrado control con 16% de TC y otro experimental con DDGS de maíz al 23,5% en la fase de 250 kg a 400 kg para continuar con una fase de acabado desde los 400 kg al sacrificio a los 570 kg en donde los concentrados se les bajó el contenido proteico y en donde el control fue con TC al 9% y el experimental fue con DDGS de maíz al 11,3%. En este ensayo se observó que los animales que consumieron el concentrado con DDGS tuvieron mayor GMD desde los 251-400 kg de PV comparado con el tratamiento control con TC (1,374 vs. 1,146 g/día con TC), así como en el segundo periodo de engorde (1,277 para los DDGS y 1,162 para TC), aunque el peso al sacrificio fue diferente comparado con el presente ensayo, no presentó diferencias entre tratamientos. En el presente ensayo no existieron diferencias significativas en la GMD en ninguno de los tratamientos (DDGS de maíz, TC y TS). En el consumo de pienso no presentaron diferencias significativas en todo el periodo del ensayo (106 a 570 kg de PV), sin embargo en el periodo entre 251-400 kg de PV, similar al del presente ensayo, tuvimos diferencias en el consumo de tal modo que los animales con TC comieron menos que los del tratamiento con DDGS, al contrario que lo que le ocurrió a Wajda et al. (2012) donde el consumo fue menor en el tratamiento con DDGS. El rendimiento de la canal fue similar entre ambos tratamientos, al igual que en el presente ensayo. De forma similar al presente trabajo, los resultados de pH obtenidos fueron de tal modo que el 95% de las muestras de carne dieron un pH inferior a 5,8. Sin embargo, en el presente trabajo, en el tratamiento con TC, aunque no presentó diferencias significativas con el resto de los tratamientos, su valor fue superior (pH de 6,07). En el presente trabajo, el contenido de grasa intramuscular no presentó diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo en el ensayo de Wajda et al. (2012) el tratamiento con DDGS presentó menor porcentaje. De acuerdo con Wichlacz et al. (1998) el mínimo de grasa intramuscular contenida en el *L. dorsi* en terneros para conseguir una satisfactoria calidad sensorial es del 1%. Las propiedades sensoriales de la carne se pueden mejorar cuando este nivel se supera. De acuerdo con otros autores

(Bach, Dünel 1993 y Wajda 1998), la óptima cantidad de grasa intramuscular para mantener una terneza adecuada en la carne de bovino es de 2,5 a 4,5%. Investigaciones previas indican que estos niveles son difíciles de alcanzar en terneros de la raza Frisona. En el presente trabajo, para el porcentaje de grasa del músculo *L. thoracis* no existen diferencias significativas entre tratamientos y los valores están comprendidos entre 1,97 y 3,09%. El porcentaje de humedad, proteína, y cenizas del músculo *L. thoracis* del presente ensayo no tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos al igual que en el ensayo de Wajda et al. (2012). El color de la carne es un importante atributo de calidad y un factor que sustancialmente influye en la decisión de compra del consumidor. De manera similar al presente ensayo, Wajda et al. (2012) encontraron diferencias significativas en el color rojo de la carne de los terneros alimentados con DDGS frente al control con TC. En el presente ensayo, los animales que consumieron DDGS de maíz, además, presentaron diferencias en el color amarillo frente al tratamiento con TC esta diferencia no es significativa entre el tratamiento con DDGS y TS.

De manera similar al presente ensayo, Abdelrahim et al. (2014) en un trabajo con corderos no encontraron diferencias significativas en el consumo de MS al emplear dietas con niveles de DDGS de maíz del 12,7 y 25,4% frente al control con soja, ello puede ser debido a la misma concentración de FND de los diferentes tratamientos. Los resultados del presente ensayo están de acuerdo con los encontrados en la literatura anterior (Powers et al., 1995; Liu et al., 2000; Huls et al., 2006 y Kleinschmit et al., 2006; Van Emon et al., 2008) que empleando DDGS de maíz en dietas de acabado de corderos no se producía incremento de consumo de MS. Kleinschmit et al. (2006) encontraron que empleando DDGS al 20% en dietas de vacuno de leche no se producía un incremento del consumo de MS. Sin embargo, se encuentran trabajos en donde Archibeque et al. (2008) encontraron un aumento de consumo de MS al emplear DDGS en corderos consumiendo forrajes de calidad media. Schauer et al. (2008) en dietas de acabado de corderos observaron un incremento lineal de consumo de MS al aumentar el consumo de DDGS. Trenkle et al. (2004) encontró incremento de consumo de MS en novillos de raza Holstein en fase de crecimiento que consumieron mas de un 40% de DDGS (sobre MS y un 90% de concentrado en la dieta). En cuanto a la GMD, al igual que en el presente trabajo, el ensayo de Abdelrahim et al. (2014) no presentó diferencia significativas en las características de la canal (PCC, PCF, EGD, área del lomo), estos resultados son similares a los resultados de diversos autores (Huls et al., 2006; Depenbusch et al., 2008; Schauer et al., 2008; Depenbusch et al., 2009; Neville et al., 2010; Whitney y Braden, 2010b) en donde los DDGS no influyeron sobre las características de la canal en la fase de acabado de corderos. Así, Depenbusch et al. (2009) indican que en novillas de 330 kg de PV con seis niveles de DDGS de maíz (0,

15, 30, 45, 60, 75% sobre MS) se produjo una respuesta cuadrática sobre el consumo de MS, GMD y PV al sacrificio al ir aumentando los niveles de DDGS, siendo máximo cuando se empleó al 15%. Sin embargo, el ratio G:F fue decreciendo linealmente al aumentar los niveles de DDGS. El área del músculo del lomo no presentó diferencias significativas entre distintos niveles de DDGS, mientras que el EGD en la 12 costilla se redujo al ir aumentando los niveles de DDGS. Al ir incrementando la cantidad de DDGS se produjo un aumento lineal de la terneza, mientras que la jugosidad de la carne no presentó diferencias en este sentido. La concentración de ácido linoleico (18:2n-6cis), el total de ácidos grasos n-6 y el total PUFA se incrementó de forma lineal con el incremento de incorporación de DDGS.

En un trabajo de Aldai, et al. (2010) se indica que la carne de novillos alimentados con un 20% de DDGS de maíz tiene mayor terneza, intensidad de sabor y color que la de los animales control con dietas en base a cebada, mientras que las raciones con DDGS de trigo son intermedias en los citados parámetros.

4.5. CONCLUSIONES

Las fuentes proteicas estudiadas en los piensos suministrados para el engorde y acabado de los terneros frisonos de cebadero no produjeron diferencias significativas en los parámetros zootécnicos tales como la ingesta total y la GMD, días de cebo, peso al sacrificio ni tampoco en las características de la canal (peso, rendimiento, conformación, nivel de engrasamiento). Sin embargo, en la fase final de cebo el consumo de pienso con TC fue inferior y el IC de esta materia prima fue más favorable comparado con los otros dos tratamientos.

Las diferentes fuentes proteicas empleadas no tuvieron un efecto significativo sobre el análisis físico-químico del músculo del ternero, pero sí que influyó en la coloración más amarilla de la grasa subcutánea del grupo de TC.

Las diferencias en el perfil de AG piensos suministrados, tuvieron algunos efectos significativos sobre la composición nutricional de la grasa subcutánea de los terneros. Los terneros suplementados con TC presentaron un contenido más elevado de AG favorables para la salud (omega-3 y más bajo del índice n-6/n-3), mientras que los DDGS de maíz presentaron un perfil de AG menos favorables para la salud humana (con un mayor contenido en ácidos grasos *trans*).

Por lo tanto, los resultados analizados indican globalmente que, a los niveles de inclusión estudiado, es posible utilizar la TC y los DDGS de maíz como suplementos proteicos alternativos a la TS en la elaboración de dietas para terneros frisonos de

engorde, con un menor gasto en concentrado en la fase final y unos IC más favorables; manteniendo además, unas características físico-químicas de la carne de los terneros muy parecidas entre los diferentes grupos de alimentación. Los resultados menos favorables desde el punto de vista dietético sobre la composición nutricional de la grasa subcutánea de la carne de los terneros alimentados con residuos secos de destilería solubles de la industria del bioetanol, dependen sustancialmente del origen del grano utilizado, por lo que debería de estudiarse la inclusión de otro tipo de grano más favorable dietéticamente (como el trigo) en la dieta animal.

4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albertí, P., Sañudo, C., Olleta, J.L., Campo, M.M., Panea, B., Franco, J. y Lahoz, F. 1999. Color del músculo y de la grasa subcutánea de terneros de siete razas españolas. *VIII Jornadas sobre producción animal*. Zaragoza. ITEA, Vol. Extra, **20** (I). pp. 80-82.
- Aldai, N., Dugan, M.E.R., Aalhus J.L., McAllister, T.A., Walter, L.J. and McKinnon, J.J. 2010. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **157**, 168-172.
- Aldai, N., Aalhus, J.L., Dugan, M.E., Robertson, W.M., McAllister, T.A., Walter, L.J. and McKinnon JJ. 2010. Comparison of wheat- versus corn-based dried distillers' grains with solubles on meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.*, **84**(3):569-77.
- Alexander, R.H., McGowan, M. 1969. The routine determination of *in vitro* digestibility of organic matter in forages. *J. Br. Grassl. Soc.*, **21**, 140-147.
- Alves, S.P., Cabrita, A.R.J., Fonseca, J.M. and Bessa, R.J.B. 2008. Improved method for fatty acid analysis in herbage based on direct trans esterification followed by solid-phase extraction. *J. Chromatogr. A*, **1209**, 212-219.
- Archibeque S.L., Freetly, H.C., and Ferrell, C.L. 2008. Feeding distillers grains supplements to improve amino acid nutriture of lambs consuming moderate-quality forages. *J. Anim. Sci.*, **86**: 691-701.
- Bach H., Dünkel R. 1993. Handelsklassen für Rindfleisch, n° 1128. Ed. AID. Alemania.
- Barton, L., Marounek, M., Kudrna, V., Bures, D. and Zahradkova, R. 2007. Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from Limousin and Charolais heifers fed extruded linseed. *Meat Sci.*, **76**, 517-523.
- Bidner, T.D., Schupp, A.R.M., Mohamad, A.B., Rumore, N.C., Montgomery, R.E., Bagley, C.P. and Mcmillin, K.W. 1986. Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all-forage or a high-energy diet. *J. Anim. Sci.*, **62**: 381-387.
- Buckner, C.D., Mader, T.L., Erickson, G.E., Colgan, S.L., Karges, K. and Gibson, M.L. 2007. Optimum levels of dry distillers grains with soluble for finishing beef steers. Nebraska Beef Cattle Report 2007. pp. 36-38. Disponible desde Internet en:

<<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1099&context=animalscinbcr>>

- Carreau, J.P. and Dubacq, J.P. 1978. Adaptation of macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts. *J. Chromatogr. A*, **151**, 384-390.
- Claypool, D.W., Hoffman, C.H., Oldfield, J.E. and Adams, H.P. 1985. Canola meal, cottonseed meal and soybean meals as protein supplements for calves. *J. Anim. Sc.*, **68**, 67-70.
- CIE. 1978. International commission on illumination, recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Supplement No. 15 of CIE publication No. 15 (E-1.3.1) 1971/ (TO-1.3). Bureau Central de la CIE. Paris, France.
- Cottrill, B., Smith, C., Berry, P., Weightman, R., Wiseman, J., White, G. and Temple, M. 2007. Opportunities and implications of using the co-products from biofuel production as feeds for livestock: Report prepared by ADAS and University of Nottingham for the Home-Grown Cereals Authority, English Beef and Lamb Executive and British Pig Executive. Disponible desde Internet en: <http://www.hgca.com/publications/documents/nonfood/RR66_Final_Research_Review.pdf>
- Depenbusch, B.E., Coleman, C.M., Higgins, J.J. and Drouillard, J.S. 2009. Effects of increasing levels of dried corn distillers grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of yearling heifers. *J. Anim. Sci.*, **87**(8), 2653-2663.
- FEDNA (Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal). 2008. Normas FEDNA: Necesidades nutricionales para rumiantes en cebo. Ferret, A., Calsamiglia, S., Bach, A., Devant, M., Fernández, C., García-Rebollar, P. Ed. FEDNA. Madrid. España.
- FEDNA (Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal). 2010. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ª edición. De Blas, C., Mateos, G.G. y García – Rebollar, P. Ed. FEDNA. Madrid. España.
- Folch, J., Lees, M. and Stanley, G.H.S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.
- Garrido, M.D. y Bañón, S. 2001. Determinación instrumental de la calidad de la carne: Medición del pH. En Cañequé, V. y Sañudo, C. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Madrid: Ed. INIA, 2000. pp. 145-155.
- Gill R.K., Van Overbeke D.L., Depenbusch B., Drouillard J.S. and Dicostanzo A. 2008. Impact of beef cattle diets containing corn or sorghum distiller's grains on beef color, fatty acid profiles, and sensory attributes. *J. Anim. Sci.*, **86**(4), 923-35.
- González, L., Moreno, T., Bispo, E., Dugan, M. and Franco, D. 2012. Fatty acid profiles of veal from "Rubia Gallega" calves fed different oil sources. *Aceptado para publicación en Meat Science en Marzo de 2013*.

- Gordon, C.M., Drouillard, J.S., Phebus, R.K., Hachmeister, K.A., Dikeman, M.E., Higgins, J.J. and Reicks A.L. 2002. The effect of Dakota Gold Brand dried distiller's grains with solubles of varying levels on sensory and color characteristics of ribeye steaks. Cattleman's Day 2002, Report of Progress 890. Kansas State University. pp. 72-74.
- He, M.L., Gibb, D., McKinnon, J.J. and McAllister, T.A. 2013. Effect of high dietary levels of canola meal on growth performance, carcass quality and meat fatty acid profiles of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, **93**, 269-280.
- Hill, R., Vincent, I.C., and Thompson, J. 1990. The effects of food intake in weaned calves of low glucosinolate rapeseed meal as the sole protein supplement. *Anim. Prod.*, **50**, 586-587.
- Huls T.J., Bartosh, A.J., Daniel, J.A., Zelinsky, R.D., Held, J., and Wertz-Lutz, A.E. 2006. Efficacy of dried distiller's grains with solubles as a replacement for soybean meal and a portion of the corn in a finishing lamb diet. *Sheep and Goat Res. J.*, **21**, 30-34.
- Jenschke, B.E., James, J.M., Vander Pol, K.J., Calkins, C.R., and Klopfenstein, T.J. 2006. Wet distillers grains plus solubles do not increase liver-like off-flavors in cooked beef. Nebraska Beef Cattle Report 2006. pp. 115-117. Disponible desde Internet en: <<http://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/>>
- Juárez, M., Dugan, M.E.R., Aldai, N., Basarab, J., Baron, V. and McAllister, T. 2012. Beef quality attributes as affected by increasing the intramuscular levels of vitamin E and omega-3 fatty acids. *Meat Sci.*, **90**(3), 764-769.
- Kleinschmit D.H., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F. and Hippen, A.R. 2006. Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, **89**, 4784-4794.
- Klopfenstein, T.J., Erickson, G.E., and Bremer, V.R. 2008 Board-Invited Review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.*, **86**, 1223-1231.
- Koenig, K.M. and Beauchemin, K.A. 2005. Barley versus protein-supplemented corn-based diets for feedlot cattle evaluated using the NRC and CNCPS beef models. *Can. J. Anim. Sci.*, **85**, 377-388.
- Leupp, J.L., Lardy, G.P., Bauer, M.L., Karges, K.K., Gibson, M.L., Caton, J.S. and Maddock, R.J. 2009. Effects of distillers dried grains with soluble on growing and finishing steer intake, performance, carcass characteristics, and steak color and sensory attributes. *J. Anim. Sci.*, **87**, 4118-4124.
- Liu C, Schingoethe, D.J., and Stegeman, G.A. 2000. Corn distillers grains versus a blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. *J. Dairy Sci.*, **83**, 2075-2084.
- Meyer, U., Schwabe, A., Dänicke, S. and Flachowsky, G. 2010. Effects of co-products from biofuel production on the performance of growing fattening bulls. *Anim. Feed Sci. and Tech.*, **161**, 132-139.

- Moreno, T., Varela, A., Portela, C., Pérez, N., Carballo, J. A. and Montserrat, L. 2007. The effect of grazing on the fatty acid profile of *longissimus thoracis* muscle in Galician Blond calves. *Animal*, **1** (8), 1227–1235.
- Moreno, T., Botana, A., Bispo, E., González, L., García, C. and Mesas, J. 2012. High energy forage feeding diets and body condition on the finishing of cull dairy cows. *Animal*, **6**(10), 1634–1641.
- Neville B.W., Schauer, C.S., Karges, K., Gibson, M.L., Thompson, M.M., Kirschten, L.A., Dyer, N.W., Berg, P.T., and Lardy, G.P. 2010. Effect of thiamine concentration on animal health, feedlot performance, carcass characteristics, and ruminal hydrogen sulfide concentrations in lambs fed diets based on 60% distillers dried grains plus soluble. *J. Anim. Sci.*, **88**, 2444–2455.
- Oliete, B. 2003. Maduración de la carne de vacuno joven en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. España.
- Paquay, R. Mandiki, S.N.M., Bister, J.L., Derycke, G., Wathélet, J.P., Mabon, N. and Marlier, M. Optimization of rapeseed meal use for fattening bulls. *Proceedings 10th International Rapeseed Congress*. 26-29 Septembre 1999. Camberra (Australia).
- Petit, H.V. and Veira, D.M. 1994. Effect of post-weaning protein supplementation of beef steers fed grass silage on performance during the finishing phase, and carcass quality. *Can. J. Anim. Sci.*, **74**, 699–701.
- Powers W.J., Van Horn, H.H., Harris, B., and Wilcox, C.J. 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus soluble on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.*, **78**, 388–396.
- Reglamento N° 103/2006. Commission Regulation of 20 January 2006, adopting additional provisions for the application of the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. Official Journal of the European Union L17, 6–8.
- Reglamento (CE) n° 152/2009 de la Comisión, de 27 de enero de 2009, por el que se establecen los métodos de muestreo y análisis para el control oficial de los piensos.
- Renand G. and Fisher A.V. 1997. Comparison of methods for estimating carcass fat content of young Charolais bulls in performance testing station. *Livest. Prod. Sci.*, **51**, 205–213.
- Roeber, D.L., Gill, R.K. and Costanzo A. 2005. Meat quality responses to feeding distiller's grains to finishing Holstein steers. *J. Anim. Sci.*, **83**, 2455–2460.
- SAS Institute Inc., 2006. Statistical Analysis Systems Institute 2006. SAS/STAT user's guide, version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Segers, J.R., Stewart, R.J., Lents, C.A., Pringle, T.D., Froetschel, M.A., Lowe, B.K., McKeith, R.O., and Stetleni, A.M. 2011. Effect of long-term corn by-product feeding on beef quality, strip loin fatty acid profiles, and shelf life. *J. Anim. Sci.*, **89**, 3792–3802.

- Schauer C.S., Stamm, M.M., Maddock, T.D., and Berg, P.B. 2008. Feeding 60% of lamb finishing rations as dried distiller's grains with soluble results in acceptable performance and carcass quality. *Sheep Goat Res. J.*, **23**, 15–19.
- Sukhija, P. S., and Palmquist, D.L. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 1202–1206.
- Trenkle A. 2004. Evaluation of wet and dry distillers grains with solubles for finishing Holstein steers. In: Leupp et al. (2009) Effects of increasing level of corn distillers dried grains with solubles on intake, digestion, and ruminal fermentation in steers fed seventy percent concentrate diets. *J. Anim. Sci.*, **87**, 2906-2912.
- Van Emon M.L., Musselman, A.F., Gunn, P.J., Neary, M.K., Lemenager, R.P. and Lake, S.L. 2008. Effects of added protein and dietary fat on lamb performance and carcass characteristics when fed differing levels of dried distiller's grains with solubles. *J. Anim. Sci.*, **86** (E-Suppl. 2): 497. (Abstr.).
- Vander Pol, K.J., Luebke, M.K., Crawford, G.I., Erickson, G.E. and Klopfenstein, T.J. 2009. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *J. Anim. Sci.*, **87**(2), 639-652.
- Varela. 2002. Estudio de las variables que afectan a la producción del tipo 'Cebón'. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. España.
- Viljoen, H. F., Kock, H. L., and Webb, E. C. 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Sci.*, **61**, 181-185.
- Wajda S. 1998. Production of quality beef meat. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, **336**, 69-73.
- Wajda, S., Szulc, T., Daszkiewicz, T., Burczyk, E., Winarski, R. and Matusevičius, P. 2012. Efficacy of DDGS supplemented diets in the intensive fattening of young bulls. *Vet. Med. Zoot.*, **59**, 80-85.
- Wichlacz H., Trela J. and Grzeskowiak E. 1998. The effect of intramuscular FAT level on physico-chemical and sensory traits of m. *L. dorsi* from young cattle. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*, **336**, 157-163.
- Whitney T.R., and Braden, K.W. 2010b. Substituting corn dried distillers grains for cottonseed meal in lamb finishing diets: carcass characteristics, meat fatty acid profiles, and sensory panel traits. *Sheep and Goat Res J.*, **25**, 50-56.
- Yossifov, M.R. Effects of dietary rapeseed meal on fatty acid profile of lamb carcass. 2014. *Iranian. J. Appl. Anim. Sci.*, **4**(4), 741-746.

5. CONCLUSIONES FINALES Y RESUMEN GENERAL.

El incremento de la demanda de energía unido a la reglamentación de la UE para el uso de energía a partir de fuentes renovables ha creado un contexto favorable para un incremento de la producción de etanol y biodiesel en los próximos años. Los productos procedentes del etanol y del biodiesel son, principalmente, los DDGS y la TC, respectivamente, siendo ésta última la de mayor importancia en la UE por ser el biodiesel el de mayor producción frente al etanol.

Ambas materias primas forman parte, sobre todo, de las raciones de los rumiantes, aunque también se está empleando en avicultura (carne y puesta), porcino y conejos.

Los trabajos publicados, sobre todo en USA y Canadá y algunos en Europa, han demostrado que existe una variabilidad de estos ingredientes debido a las diferentes condiciones y tecnología en la producción de los mismos. También se ha estudiado el comportamiento de estos ingredientes en la alimentación animal, sobre todo en rumiantes, con resultados positivos e interesantes.

Dentro de la UE existe un déficit de proteína y una dependencia del exterior para abastecer al sector de la alimentación animal, por ello, resulta estratégico reducir esta dependencia y mejorar, racionalizar las actuales fuentes proteicas y optimizar el uso de proteínas alternativas a la soja. Por ello, este estudio pretende poder comprobar que dichos ingredientes pueden sustituir totalmente o parcialmente a la TS en la alimentación de vacas lecheras y en el cebo intensivo de terneros.

Con este fin, se diseñaron dos ensayos en donde gran parte de la proteína procedente de la soja fue sustituida por DDGS de maíz, DDGS de trigo y TC con el fin de verificar que no se producían efectos adversos sobre los rendimientos de los animales y las características de los productos producidos (leche y carne).

En el primer estudio se emplearon cuatro tratamientos que incluyeron TC, DDGS de maíz, DDGS de trigo en sustitución parcial de TS sobre la producción de vacas lecheras y la composición de la misma. Se empleó una ración forrajera basal e igual para todos los tratamientos que contenía ensilado de hierba y de maíz y suplementada con un concentrado en el que se varió la composición de la fuente proteica con las materias primas citadas y alternativas a la soja. También se realizó un ensayo de digestibilidad de cada una de las cuatro raciones completas en machos castrados alojados en jaulas metabólicas. Así mismo, se realizó un estudio sobre la cinética de la degradabilidad de las cuatro materias primas de cada tratamiento, así como de los cuatro

piensos que la componían, empleando el sistema de bolsas de nylon sobre vacas fistulizadas.

En un segundo estudio se emplearon tres tratamientos con TC, DDGS de maíz en sustitución parcial de TS en terneros machos castrados de raza Holstein en periodo de crecimiento y acabado (desde los 120 kg de PV hasta los 400 kg), alimentados de forma intensiva con pienso al que se varió la composición de la fuente proteica en la proporción del 90% de la ración total complementando a un 10% de paja de cereales y sobre los parámetros productivos, las características de la canal y el perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea de la canal.

De los dos ensayos realizados se puede extraer las siguientes conclusiones:

1. La digestibilidad de las raciones completas de todos los parámetros estudiados (MS, MO, N, FND y FAD, obtenida en los ovinos alojados en jaulas metabólicas, no presentó diferencias entre los tratamientos. Así mismo, la ingestión voluntaria de MS y de MO fue mayor en el tratamiento con TS.

2. En el ensayo de degradabilidad mediante la técnica de las bolsas de nylon en vacas canuladas, los valores obtenidos para la MS, MO y el N presentaron diferencias en la dinámica de la degradación ruminal entre todos los ingredientes. La TC se mostró con la menor degradabilidad ruminal de la MS y la MO (seguramente debido a su mayor proporción de fibra poco digestible, LAD), mientras que los DDGS de maíz tuvieron la mayor proporción de N no degradable en el rumen y una menor velocidad de degradación de la fracción nitrogenada potencialmente degradable (probablemente por su mayor contenido en FADIN).

3. En el ensayo de producción de leche, los cuatro tratamientos no presentaron diferencias en los parámetros siguientes: MSI, producción de leche, producción de grasa y proteína en leche, eficiencia de utilización de la MSI y misma variación de PV de la vacas a lo largo del ensayo.

4. En el ensayo de producción de leche, los cuatro tratamientos presentaron diferencias en los parámetros de composición de la leche: GB, PB y contenido en urea. De tal modo que el tratamiento con DDGS de maíz fue el de menor porcentaje de PB, GB y urea.

5. En el ensayo de producción de terneros, los tres tratamientos no presentaron diferencias en las medidas *in vivo* siguientes: Peso al sacrificio, días de cebo, consumo total de pienso, GMD, edad al sacrificio, GSBT. Sin embargo, el IC fue inferior en el tratamiento con TC.

6. En el ensayo de producción de terneros, los tres tratamientos no presentaron diferencias en los siguientes parámetros de la canal: PCC, PCF, rendimiento de la canal,

conformación, engrasamiento, EGD, composición química del *L. thoracis* (humedad, proteína, grasa y cenizas), peso de la pieza del lomo, pH, área y diámetro mayor del *L. thoracis* en la 12ª costilla, color y tono de la grasa subcutánea.

7. En el ensayo de producción de terneros, el tratamiento con DDGS de maíz resultó con menor peso del músculo *L. thoracis*, mayor índice rojo y amarillo, así como mayor cromaticidad de la grasa subcutánea.

8. En el ensayo de producción de terneros, los tres tratamientos presentaron diferencias en el perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea: los animales que consumieron pienso cuya fuente proteica fueron los DDGS de maíz presentaron mayor contenido en ácido linoleico, total de ácidos grasos poliinsaturados, total de ácidos grasos *trans* y menor contenido en ácido palmítico, de tal modo que los índices PUFA/SFA y n-6/n-3 fueron mayores en la grasa subcutánea del lomo de los terneros que consumieron DDGS de maíz como fuente proteica principal.

Para concluir y visto los resultados obtenidos, tanto en los ensayos de vacuno lechero como de carne, podemos indicar que la sustitución parcial o total de la TS por las materias primas procedentes de la fabricación de biocombustibles (DDGS de maíz, DDGS de trigo y TC) no afectan de manera negativa a la mayor parte de los parámetros productivos y características de los productos animales estudiados. Así pues, los resultados de estos ensayos cumplen con los objetivos generales y específicos marcados al inicio de esta tesis.

Un factor a considerar en un siguiente estudio sería conocer el efecto que tiene la temperatura, que se aplica durante el proceso de producción de etanol y biodiesel, sobre la degradabilidad de la proteína en el rumen, así como la disponibilidad de la lisina y resto de AA de la proteína no degradable con el fin de optimizar mejor las raciones de los animales de mayor rendimiento productivo.

La disponibilidad de un método analítico rápido y fiable para determinar el daño térmico al que fue sometido el ingrediente y correlacionarlo con la degradabilidad de la proteína y la digestibilidad de los AA podría ser un objetivo a cumplir en un futuro y servir de herramienta al sector de la alimentación animal para optimizar mejor las raciones y cubrir los requerimientos de los animales, sobre todo en los de mas alta producción. Los retos de los nutricionistas es poder aportar los nutrientes necesarios a las distintas producciones animales con el coste más óptimo, independientemente de la materia prima de que se trate.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de flujo de la producción de torta de colza por el método de prepresión con solventes.....	11
Figura 2.2. Diagrama de flujo de la producción de etanol por el método de molienda en seco.	21
Figura 3.1. Curvas de degradación in situ de la MS y del N de las materias primas, ajustadas al modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$	82
Figura 3.2. Curvas de degradación in situ de la MS y del N de los concentrados, ajustadas al modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$	91





ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Consumo anual (t/año) de pienso y DDGS, TS, TC, TG y pienso en la Comunidad Autónoma de Galicia entre los años 2008 y 2014. Agafac, 2015.....	6
Tabla 2.1.	Comparación entre la composición en AA contenidos en la leche, la proteína microbiana y varios concentrados proteicos. Canola Council, 2009.	14
Tabla 2.2.	Composición nutricional de TS, TC, DDGS de maíz y DDGS de trigo. FEDNA, 2010; INRA, 2002; NRC, 2001; CIGI, 2013.....	34
Tabla 2.3.	Contenido de AA expresados como % de la PB. FEDNA, 2010	44
Tabla 3.1.	Composición de los concentrados (%) integrantes de las raciones completas de los cuatro grupos experimentales de vacas de leche	67
Tabla 3.2.	Composición química media y rangos de variación de las materias primas proteicas evaluadas en el experimento.....	73
Tabla 3.3.	Composición química media y rangos de variación de los concentrados utilizados en la alimentación de las vacas de leche a lo largo del experimento.	74
Tabla 3.4.	Composición química media y rangos de variación de los ensilados de maíz y de hierba utilizados en la elaboración de las dietas completas del ensayo de alimentación de las vacas de leche.....	76
Tabla 3.5.	Composición de ingredientes de las raciones completas consumida por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.	77
Tabla 3.6.	Valores esperados de la ración completa a consumir por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.	77
Tabla 3.7.	Composición analítica de las raciones completas consumida por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.	78
Tabla 3.8.	Resultados de la evaluación de la digestibilidad <i>in vivo</i> de las raciones completas consumidas por las vacas lecheras en el ensayo de alimentación.	79
Tabla 3.9.	Parámetros que describen la cinética de degradación ruminal de la MS, MO y N de las materias primas incubadas <i>in situ</i>	81
Tabla 3.10	Parámetros que describen la cinética de degradación ruminal de la MS de las materias primas incubadas <i>in situ</i> . Gruber et al., 2005.....	83
Tabla 3.11.	Comparación de los DDGS de trigo y de maíz y de diferentes plantas de bioetanol de los parámetros <i>in situ</i> de la degradabilidad de la MS, MO y PB. Nuez-Ortín, (2010).	84
Tabla 3.12.	Comparación de los valores de PDI de las materias primas de del presente ensayo con los valores de FEDNA, (2010) e INRA, (2002).....	85

Tabla 3.13. Valores de la fracción inmediatamente degradable (A), fracción potencialmente degradable (B), velocidad de degradación ruminal (c) y degradabilidad teórica (DT) de la MS y del N, según NRC, (2001), INRA, (2002) y FEDNA, (2010).	88
Tabla 3.14. Parámetros que describen la cinética de degradación ruminal de la MS, MO y N de los concentrados incubados <i>in situ</i>	90
Tabla 3.15. Efecto del tipo de concentrado sobre la MSI, composición físico-química de la leche, producción y variación de PV de las vacas en el ensayo de alimentación.	92
Tabla 3.16. Efecto del período de evaluación sobre la MSI, composición físico-química de la leche, producción y variación de PV de las vacas en el ensayo de alimentación.	101
Tabla 4.1. Composición de ingredientes de los piensos de arranque (120-150 kg de PV).	111
Tabla 4.2. Composición química teórica de los piensos de arranque (120-150 kg de PV).	112
Tabla 4.3. Composición de ingredientes de los piensos de cebo (150-400 kg de PV).	112
Tabla 4.4. Composición química teórica de los piensos de cebo (150-400 kg de PV).	113
Tabla 4.5. Medias de la composición química (NIRS) de los diferentes piensos de arranque suministrados a los terneros.	115
Tabla 4.6. Medias de la composición química (vía húmeda) de los diferentes piensos de arranque suministrados a los terneros.	115
Tabla 4.7. Medias de composición química (NIRS) de los diferentes piensos de cebo suministrados a los terneros.	116
Tabla 4.8. Medias de la composición química (vía húmeda) de los diferentes piensos de cebo suministrados a los terneros.	116
Tabla 4.9. Medias de la composición química (vía húmeda) %MS y digestibilidad de la MO in vitro de los dos tipos de paja suministrada a los terneros.	117
Tabla 4.10. Media, error estándar y diferencias significativas del perfil de AG (% de cada AG) de los piensos suministrados a los terneros.	118
Tabla 4.11. Medias del perfil de AG (% de cada AG) de los dos tipos de paja suministrada a los terneros.	119
Tabla 4.12. Consumo (kg/animal y día) total y por rangos del PV total y por rangos del PV según el tipo de alimentación.	120
Tabla 4.13. Consumo (kg/animal y día) por rangos del PV de la paja suministrada a los terneros.	121
Tabla 4.14. Medias de las características y medidas del animal en vivo y canal, según el tipo de alimentación.	122

Tabla 4.15. Medias de medidas realizadas sobre la pieza de lomo, según el tipo de alimentación.....	123
Tabla 4.16. Medias de la Composición Química del <i>L.thoracis</i> de los terneros según el tipo de alimentación.....	124
Tabla 4.17. Medias de parámetros físicos de la grasa subcutánea de los terneros según el tipo de alimentación	125
Tabla 4.18. Media, error estándar y diferencias significativas del perfil de AG (% de cada AG) de la grasa subcutánea de los terneros según el tipo de alimentación.	128
Tabla 4.19. Rendimientos productivos y características de la canal de crecimiento de novillos cuando se incrementa el nivel de DDGS de maíz en la dieta. Brickner et al. (2007).....	131





ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.1.	Evolución de la producción europea de biodiésel.....	3
Gráfico 1.2.	Producción por países de biodiésel dentro de la UE correspondientes al año 2011.....	3
Gráfico 1.3.	Evolución de la producción europea de etanol.....	4
Gráfico 1.4.	Producción europea (EU-27) de etanol en el año 2013.....	4
Gráfico 1.5.	Evolución del consumo de materias primas proteicas (miles de t) en la UE-27 desde el año 2005 al 2013..	5
Gráfico 1.6.	Evolución del consumo (t/año) de materias primas proteicas en Galicia (España) desde el año 2008 al 2014.....	6
Gráfico 4.1.-	Perfil de de los principales AG de los piensos suministrados a los terneros.....	119
Gráfico 4.2.-	Consumo medio a lo largo del periodo de cebo según el tipo de alimentación.....	121
Gráfico 4.3.-	Medias de algunas características zootécnicas según el tipo de alimentación.....	123
Gráfico 4.4.	Medida del color de la grasa subcutánea según el tipo de alimentación.....	126





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de flujo de la producción de torta de colza por el método de pre- presión con solventes. Newkirk, 2002.	11
Figura 2.2. Diagrama de flujo de la producción de etanol por el método de molienda en seco. Bothast y Schlicher, 2005.	21
Figura 3.1. Curvas de degradación in situ de la MS y del N de las materias primas, ajustadas al modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$ de Ørskov y McDonald, (1979).	82
Figura 3.2. Curvas de degradación in situ de la MS y del N de los concentrados, ajustadas al modelo $p=A+B(1-e^{-ct})$ de Ørskov y McDonald, (1979).	91

